



Faculdade de Pindamonhangaba



Recredenciada pela Portaria Ministerial n.º 516, de 12/06/2013 publicada no D.O.U. de 13/06/2013

Cainã Santana dos Santos
Tiago Marcelino Ferreira da Costa

AUTOMAÇÃO NO CULTIVO DE MICROALGAS

Pindamonhangaba – SP

2016



Faculdade de Pindamonhangaba



Recredenciada pela Portaria Ministerial n.º 516, de 12/06/2013 publicada no D.O.U. de 13/06/2013

Cainã Santana dos Santos
Tiago Marcelino Ferreira da Costa

AUTOMAÇÃO NO CULTIVO DE MICROALGAS

Artigo apresentado como parte dos requisitos para obtenção do Diploma de Engenharia e Controle de Automação pelo curso de Engenharia e Controle de Automação da Fundação Universitária Vida Cristã - Faculdade de Pindamonhangaba

Orientador: Prof. Me. Marcelo Pinheiro Werneck.

Pindamonhangaba – SP

2016

Costa, Tiago Marcelino Ferreira da ; Santos, Cainã Santana dos
Automação no cultivo de microalgas / Cainã Santana dos Santos; Tiago
Marcelino Ferreira da Costa / Pindamonhangaba-SP : FAPI Faculdade
de Pindamonhangaba, 2016.
24f. : il.

Monografia (Graduação em Engenharia e Controle de Automação) FAPI-SP.
Orientador: Prof. Me. Marcelo Pinheiro Werneck.

1 Automação. 2 Arduino. 3 Biodiesel. 4 Microalgas.
I Automação no cultivo de microalgas / Cainã Santana dos Santos; Tiago
Marcelino Ferreira da Costa.



Faculdade de Pindamonhangaba



Recredenciada pela Portaria Ministerial n.º 516, de 12/06/2013 publicada no D.O.U. de 13/06/2013

Cainã Santana dos Santos
Tiago Marcelino Ferreira da Costa

AUTOMAÇÃO NO CULTIVO DE MICROALGAS

Artigo apresentado como parte dos requisitos para obtenção do Diploma de Engenharia e Controle de Automação pelo Curso de Engenharia e Controle de Automação da Fundação Universitária Vida Cristã - Faculdade de Pindamonhangaba

Data: _____

Resultado: _____

BANCA EXAMINADORA

Prof. _____ Faculdade de Pindamonhangaba

Assinatura _____

Prof. _____ Faculdade de Pindamonhangaba

Assinatura _____

Prof. _____

Assinatura _____

Dedicamos este trabalho a Deus, a nós mesmos, a nossas famílias, a todos nossos amigos e aos professores que nos ajudaram durante nossa vida acadêmica.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos, primeramente, a Deus por nos ter dado forças e sempre nos guiado em todos os momentos.

A nós, que nos esforçamos, nos dedicamos todos esses anos a nossa vida acadêmica, também a nossos familiares por todo apoio e incentivo que nos foi dado.

Ao nossos professores e amigos que nos ajudaram a chegar aonde estamos hoje, em especial ao Prof. Dr. Messias Borges Silva por ter nos dado a oportunidade de desenvolver este projeto em seu laboratório na EEL/USP.

A nossa Profa. Ma. Luciana A. S. Azeredo e ao nosso Coordenador e orientador Prof. Me. Marcelo Pinheiro Werneck que sempre nos apoiaram durante o curso.

“A tecnologia move o mundo.”

Steve Jobs

“O que você sabe não tem valor, o valor está no que você faz com o que sabe.”

Bruce Lee

RESUMO

Grande poluição causada pelo uso de combustíveis fósseis e o alto custo de extração e tratamento deste tipo de combustível tem levado à busca por encontrar fontes alternativas de combustíveis por causa da grande poluição causada pelo uso de combustíveis fósseis e do alto custo de extração e tratamento deste tipo de combustível. O cultivo de microalgas tem aumentado para pesquisas cujo o objetivo é produzir o biodiesel, por não causar danos ao meio ambiente, por ser economicamente mais viável e ocupar menos espaço para ser produzidos. Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo elaborar um processo de automação de medição e supervisão do processo de produção de microalga *Chlorella minutissima* para a produção de biodiesel. Para tal, foi elaborado um sensor para executar leituras de absorvância do meio de cultivo no laboratório de Qualidade, Meio Ambiente e Bioenergia – USP. Os cultivos são realizados em triplicata, em fotobiorreatores de acrílico com 40 l de capacidade. Um pequeno volume do meio de cultivo é periodicamente drenado, por meio de uma bomba esguicho de água de 12 V, para dentro do sensor. O aparato é constituído dentro de uma caixa metálica e no interior desta caixa passa um tubo de PVC de 1/2” que recebe aberturas nos 2 lados onde são alocados 2 quadrados de vidro de 1 cm² para o encaixe, de um lado, do Led RGB como emissor de luz que trabalha nos comprimentos de onda das cores vermelha (690 nm) e verde (540 nm) e, do outro lado, o LDR como coletor .As informações geradas pelos dispositivos são processadas pelo microcontrolador Arduino ATmega integrado com shield Ethernet W5100, com sensor de temperatura DS18B20 e um módulo de sensor de pH para solução, e são exibidas em um supervisor. Desta forma, a monitoração da evolução do processo de cultivo das microalgas pode ser visualizada remotamente. Foram realizados três análises, duas contendo uma quantidade de microalgas e uma somente de água, a solução de água se mostrou 0% de absorvância e outras duas demonstrou valores mais significativos.

Palavras-chave: Automação. Arduino. Biodiesel. Microalgas.

ABSTRACT

Large pollution caused by the use of fossil fuels and the high cost of extraction and treatment of this type of fuel has led to the search for alternative fuel sources due to the great pollution caused by the use of fossil fuels and the high cost of extraction and treatment of this fuel type of fuel. The cultivation of microalgae has increased for research whose goal is to produce biodiesel, as it does not cause damage to the environment, because it is economically more viable and occupy less space to be produced. In view of the above, this work aims to develop a process of automation of measurement and supervision of the production process of microalga *Chlorella minutissima* for the production of biodiesel. For such, a sensor was developed to perform absorbance readings of the culture medium in the Laboratory of Quality, Environment and Bioenergy - USP. Cultures are performed in triplicate, in acrylic photobioreactors with 40 l capacity. A small volume of the culture medium is periodically drained, via a 12 v water pump, into the sensor. The apparatus is constituted inside a metal box and inside this box will pass a 1/2 "PVC which receives openings on the two sides where 2 squares of 1 cm² glass are allocated for the fitting, on one side RGB Led as emitter Of light that work on the red (690 nm) and green (540 nm) color add-ons and on the other side the LDR sensor as sensor collector. The information generated by the devices is processed by the Arduino ATmega microcontroller integrated with Shild Ethernet W5100, integrated with DS18B20 temperature sensor and a pH sensor module for solution, and are displayed in a supervisor. In this way, the monitoring of the evolution of the microalgae cultivation process can be viewed remotely. Three analyzes were performed, two containing a quantity of microalgae and one only of water, the water solution showed 0% of absorbance and two others showed more significant values.

Keywords: Automation; Arduino. Biodiesel. Microalgae.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Lei de Beer	15
Figura 2 – Arduino Mega	16
Figura 3 – Configuração do Arduino.....	18
Figura 4 – LED RGB.....	19
Figura 5 – Esquema de montagem do sensor	22

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Características do Arduino Mega	17
Quadro 2 – Led de informação	17

LISTA DE TABELA

Tabela 1 – Absorbância do teste preliminar	23
--	----

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	14
2.1 Cultivo de microalgas.....	14
2.2 Arduino Mega	16
2.3 Módulo Ethernet W5100.....	17
2.4 LDR.....	18
2.5 LED RGB	18
2.6 Sensor de temperatura DS18B20	19
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	20
4 RESULTADOS PRELIMINARES	22
5 CONCLUSÃO.....	23
REFERÊNCIAS	24

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, uma das grandes preocupações relacionadas ao meio ambiente é produção de gases capazes de contribuir para o efeito estufa e, conseqüentemente, para o aquecimento global. Entre outras fontes, estes gases podem ser gerados a partir da combustão dos combustíveis fósseis, como a gasolina. Além disso, fatores econômicos, a crise energética, financeira e, a mais recente crise na Petrobrás tem desencorajado o uso destes combustíveis.

A procura por alternativas sustentáveis de baixo custo, que causem menos poluição, tem crescido ao longo dos anos. Desta forma, a produção de biodiesel a partir de biomassa de microalga tem se mostrado uma alternativa viável ao uso do diesel devido à facilidade do cultivo e a possibilidade da utilização de efluente como meio de cultivo. Diante do exposto, este trabalho tem como objetivo elaborar um processo de automação de medição e supervisão do processo de produção de microalga *Chlorella minutissima* para a produção de biodiesel, que inicialmente era feita de forma manual.

No que tange à organização do artigo, primeiramente, serão abordados os conceitos do cultivo de microalgas, como é feita sua análise e algumas informações dos materiais que usados no projeto de automatização da análise de microalgas, na sequência, será apresentada a metodologia do projeto. Ao final, apresentam-se os resultados parciais e a conclusão

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Cultivo de microalgas

Na atualidade, a necessidade de fontes renováveis de combustíveis vem forçando a procura por novos meios de obter matérias primas não agressivas ao meio ambiente. Dentre as fontes para fabricação de biodiesel, encontram-se as microalgas.

“Microalgas são micro-organismos fotossintéticos (dotados de clorofila) que podem crescer rapidamente e viver em condições rigorosas devido a sua estrutura unicelular” (MATA; MARTINS; CAETANO, 2010).

Elas são encontradas pelo mundo todo tanto em ambientes aquáticos quanto em solos em forma de colônias ou em segmentos lineares de células (LOURENÇO, 2006).

São capazes de diminuir o excesso de CO₂ da atmosfera através da sua fotossíntese (AMARO; GUEDES; MALCATA, 2011).

“Atualmente o biodiesel produzido com microalgas vem ganhando destaque devido à capacidade de gerar elevadas quantidades de óleo a partir da biomassa seca comparado com as oleaginosas vegetais além de não competir com a produção de alimentos” (HURUN et al., 2010).

Os cultivos de microalgas são feitos em regime de batelada, no qual as células são inoculadas em um meio fresco líquido onde acontece a adição de nutrientes para se ter as condições químicas e físicas favoráveis para o cultivo (RICHMOND, 2004).

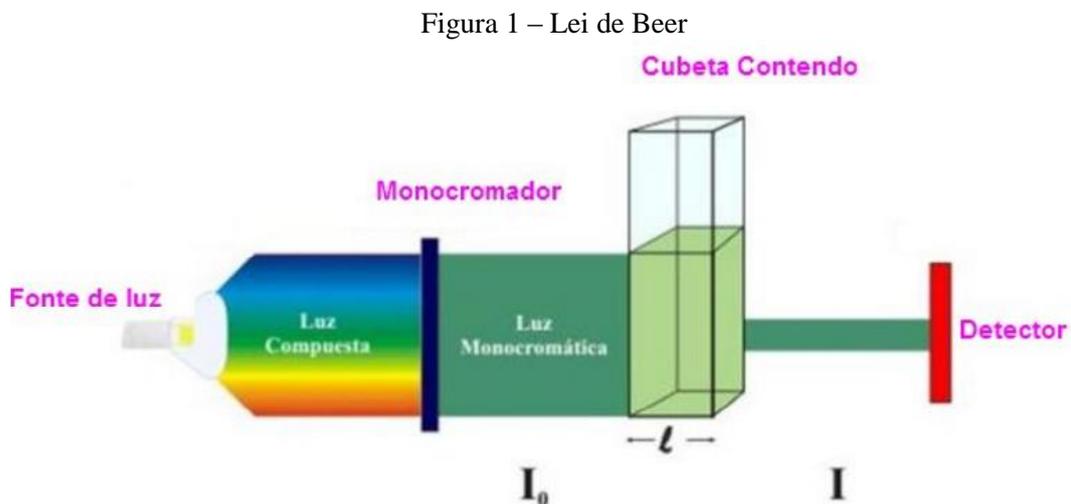
Na fase de adaptação, as células de microalgas são retiradas de um cultivo e postas em um novo meio fresco, fase esta na qual os nutrientes são absorvidos dificilmente. Na sequência, há uma fase na qual se tem uma aceleração no crescimento devido ao fato de as células já estarem adaptadas, mas o crescimento ainda não está em seu máximo. Na fase posterior, o crescimento de células chega ao seu valor máximo. Na sequência, vem o crescimento máximo e, depois, se tem uma fase na qual a velocidade de crescimento é mantida e, logo após, as células começam a morrer (AMARAL, 2014). Vale ressaltar que o presente trabalho visou auxiliar no monitoramento da evolução das microalgas.

As microalgas são cultivadas em meio aberto e fechado. No meio aberto, as microalgas são cultivadas ao ar livre, podendo o cultivo ser feito em piscinas, tanques ou lagoas, ambientes passivos de contaminações e oscilações de temperatura e intensidade luminosa do sol. Este sistema é de baixo custo de instalação e operação (AMARAL, 2014). Já, o cultivo em sistema fechado, é feito em laboratório para que haja maior aproveitamento de biomassa

acumulada, utilizando-se de fotobiorreatores nos quais se tem o aumento da luminosidade por célula (SUALI, SARBATLY, 2012).

Construídos normalmente em materiais transparentes como o vidro ou o acrílico, os quais permitem maior penetração da luz, os fotobiorreatores são mais custosos que outros meios de cultivo, mas são os mais eficientes. Eles são em sua maior parte tubulares na vertical, airados pelo fundo e mantidos em ambientes fechados (AMARAL, 2014).

A medição de absorbância, hoje, é feita através de um espectrofotômetro UV-Vis (espectroscopia no ultravioleta visível). Nele, é selecionado o comprimento de onda adequada para a medição. A amostra é recolhida em um recipiente de 4 mL e as leituras feitas em triplicata (AMARAL, 2014). A espectrometria de absorção molecular na região U-VIS é usada para determinar quantitativamente várias espécies orgânicas e inorgânicas e biológicas. Ela tem como base a radiação eletromagnética na região de comprimento de onda ente 190 e 800 nm (nanômetro). A absorção molecular utiliza as medidas de transmitância T ou da absorbância A de soluções em recipientes transparentes com comprimento óptico de 1 cm. O analito normalmente tem sua concentração linearmente proporcional à absorbância segundo a lei de Beer (HOLLER; SKOOG; CROUCH, 2009). A Figura 1 apresenta os fundamentos da lei de Beer complementada pelas Equações 1 e 2.



Fonte: SANTOS (2016).

$$T = \frac{I}{I_0} \quad (1)$$

$$Abs = -\log T \quad (2)$$

Onde:

T – transmitância;

Abs – absorbância (ou absorvância);

I_0 – intensidade da luz incidente;

I – intensidade da luz uma vez tendo atravessado o meio;

l – distancia (cm).

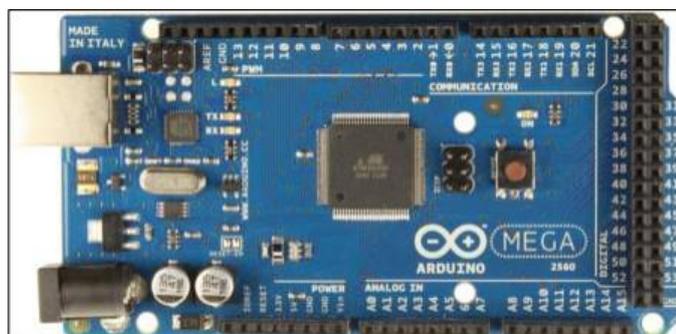
O protótipo aqui visa automatizar a análise do cultivo de microalgas. Vale mencionar que o objetivo da automação é diminuir ou substituir atividades antes feitas por inteligência ou força humana, a automação é um meio de potencializa o processo a ser automatizado (FIALHO, 2007; LAMB, 2015).

Na sequência, serão apresentados os componentes utilizados para a automação proposta.

2.2 Arduino Mega

O projeto desenvolvido utilizará o modelo Arduino Mega 2560, devido ao fato de ser uma placa recente, que possui compatibilidade com a maioria dos módulos existentes, e por possuir uma quantidade maior de pinos de entrada e saída, totalizando 54, se comparado à versão mais popular, Arduino Uno, que possui apenas 14. A versão Mega consiste em uma placa micro controlada, na qual o processador é o micro controlador ATmega 2560, conforme Figura 2.

Figura 2 – Arduino Mega



Fonte: ARDUINO (c2016a).

O Quadro 1 apresenta de forma clara e objetiva as características do Arduino Mega, versão utilizada neste trabalho.

Quadro 1 – Características do Arduino Mega

Micro controlador	ATmega 2560
Tensão de funcionamento	5 V
Tensão de entrada (recomendado)	7 a 12 V
Tensão de entrada (máxima)	6 a 20 V
Pinos de entrada e saída digital	54 (dos quais 14 podem ser saídas PWM)
Pinos de entradas analógicas	16
Valor máximo de corrente fornecida por pino	40 mA
Valor de corrente para pino 3,3 V	50 mA
Memória <i>flash</i>	256 KB
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Velocidade de <i>clock</i>	16 MHz

Fonte: ARDUINO (c2016b).

2.3 Módulo Ethernet W5100

O módulo *ethernet* W5100 é compatível com o Uno Arduino e Mega, e permite que o Arduino acesse a Internet como servidor ou cliente, através de um cabo RJ45. Sua conexão se dá pelo barramento SPI (*Serial Peripheral Interface*), através das saídas digitais 11, 12 e 13. Ele é baseado no chip *ethernet* W5100 Wiznet, responsável por fornecer pilha TCP ou UDP.

O módulo possui uma série de Led de informação, conforme apresentado no Quadro 2.

Quadro 2 – Led de informação

LED	Significado
PWR	Indica que o módulo está ligado
LINK	Indica a presença de um link de rede e pisca quando o módulo transmite ou recebe dados
FDX	Indica que a conexão de rede é <i>full duplex</i>
SPD	Indica a presença de uma conexão de rede de 100 Mb/s (oposto a 10 Mb/s)
RX	Pisca quando o módulo recebe dados
TX	Pisca quando o módulo envia dados
COL	Pisca quando colisões de rede são detectadas

Fonte: ARDUINO (c2016c).

Caso seja necessário o armazenamento de alguma informação, o módulo possui também espaço para inserir micro sd.

O W5100 não possui um *MAC address* predefinido, portanto, foi atribuído a ele, através da função `Ethernet.begin` o *MAC address* DE-AD-BE-EF-FE-ED, juntamente de um IP fixo

192.168.1.102, *gateway* padrão 192.168.1.1 e máscara de rede 255.255.255.0, conforme o código da Figura 3.

Figura 3 – Configuração do Arduino

```
//Configurações do Ethernet Shield
byte mac[] = { 0xDE, 0xAD, 0xBE, 0xEF, 0xFE, 0xED };
byte ip[] = { 192,168,1, 102 }; // ip que o arduino assumirá
byte gateway[] = { 192,168,1,1 }; // ip do roteador
byte subnet[] = { 255, 255, 255, 0 };
```

Fonte: próprio autor.

2.4 LDR

O LDR é um resistor sensível à luz que varia sua resistência conforme é alterada a intensidade luminosa que incide sobre ele. À medida que a intensidade luminosa aumenta (o ambiente fica mais claro), a sua resistência diminui para algumas dezenas de Ohms, e, quando a intensidade luminosa diminui (o ambiente fica mais escuro), a sua resistência aumenta para alguns mega Ohms. Trata-se de um sensor de baixo custo que está presente em muitos circuitos eletrônicos que necessitam monitorar a luz ambiente. Seu uso é bem simples: através de um circuito divisor resistivo a variação de resistência é convertida em tensão e usada pelo circuito de controle.

Através dessa característica pode-se utilizar esse sensor para detectar a luminosidade do ambiente, para tomar uma decisão como, por exemplo, ligar uma lâmpada, como ocorre nas fotocélulas.

Para fazer a leitura da variação de luminosidade, ou seja, a variação de resistência do LDR, é necessário montar um divisor de tensão.

2.5 LED RGB

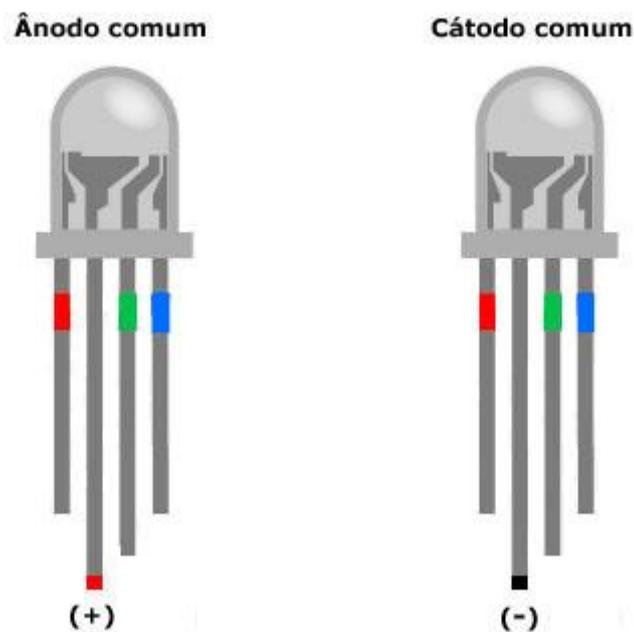
O padrão RGB é uma sigla originária do inglês e significa, *red* (vermelho), *green* (verde) e *blue* (azul), que são as três cores primárias e é com elas que podemos criar todas as outras tonalidades possíveis. O Led RGB possui, na verdade, cada uma das três cores

separadamente, sendo controladas da mesma forma, tornando esse tipo de componente útil para aplicações mais práticas.

O Led RGB funciona basicamente com mistura de cores, variando a luminosidade de uma cor e aumentando a das outras, dando origem a novas tonalidades, possui dois polos sendo um negativo e um positivo como é mostrado na Figura 4.

No microcontrolador Arduino pode-se controlar tal componente, para isso precisaremos de três portas PWM e o código de programação. A partição é de 8 bits para cada uma das cores (vermelho, verde e azul), sendo assim possível um alcance de 256 valores, ou intensidades, para cada uma das cores primárias. Com este sistema, mais de 16 milhões (16.777.216 ou 256^3) diferentes combinações de tons, saturação e brilho podem ser reproduzidos, mesmo que não possamos distingui-las com facilidade.

Figura 4 – LED RGB



Fonte: COMO FAZER AS COISAS (2016).

2.6 Sensor de temperatura DS18B20

O sensor de temperatura DS18B20 é um componente eletrônico digital desenvolvido para ser aplicado nos mais diversos ambientes, pois é capaz de medir a temperatura em locais úmidos, inclusive estando submerso na água. Para que o sensor de temperatura entre em

funcionamento, é necessário estar conectado a uma plataforma de prototipagem, por exemplo, o Arduino.

Por ser à prova d'água, o sensor de temperatura DS18B20 permite as mais diversas aplicações e em, razão de poder ser submerso na água, o sensor de temperatura é produzido em aço inoxidável e o cabo revestido em material isolante para que não sofra nenhum dano decorrente da umidade.

Um diferencial do sensor de temperatura DS18B20 é a sua capacidade de possibilitar leituras com resolução entre 9 a 12-bit, a qual é configurável. Além disso, ele possui uma interface de comunicação simples por meio de um fio único, função conhecida como *1-Wire*, que permite ligar vários sensores de temperatura em uma única saída digital do Arduino. Só é possível o sensor de temperatura DS18B20 executar a função *1-Wire* em razão de cada sensor possuir um número serial único de 64-bit, e isso permite controlar um grande ambiente, como o interior de um prédio, por exemplo, uma sala de máquinas ou ainda a temperatura da água em diversos reservatórios, entre outros.

Importante mencionar que apesar de o sensor de temperatura DS18B20 medir até 125 °C, a temperatura máxima recomendada é de 100 °C, já que seu cabo é revestido em PVC.

Outra característica diferencial do sensor de temperatura DS18B20 é que o mesmo pode derivar a alimentação do barreamento de dados, sem precisar de uma fonte externa de energia, essa característica conhecida como “*parasite power*”.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Foi proposto que, no estágio realizado por Cainã Santana dos Santos no Laboratório Engenharia da Qualidade e Meio Ambiente da USP em Lorena, a execução de um sistema otimizado capaz de medir a concentração celular de microalgas do gênero *Chlorella* em cada um dos 3 fotobiorreatores, com a possibilidade de leitura dos resultados em tempo real, ou seja visualizado em qualquer lugar onde haja acesso à internet, através de um sistema supervisório. O projeto prevê também a futura extensão a outros laboratórios.

Para desenvolver este projeto na USP, fez-se necessário, primeiramente, entender, como era realizada a medição de absorvância. Foi descoberto que se usava um aparelho chamado espectrofotômetro, localizado no laboratório, longe do sistema de cultivo. Por este motivo, era

necessário que as amostras fossem coletadas manualmente por alguém e levadas até o equipamento para que a medição fosse realizada.

Levantou-se também que o espectrofotômetro usa como um dos princípios para fazer as medições de absorvância e transmitância a lei de Beer-Lambert, que compara a absorção de radiação luminosa de uma certa solução com a concentração de soluto nesta solução, sendo possível escolher feixe de luz (comprimentos de onda λ) dadas em nanômetro (nm).

Outro detalhe importante é o fato de que cada feixe de luz corresponde a uma cor e, segundo a Colorimetria, a absorção de uma cor por um objeto é seletiva de certos comprimentos de onda da luz, sendo estes são refletidos ou transmitidos de acordo com a natureza destes objetos.

Como a solução contendo microalgas possui a coloração verde e sabendo que as cores vermelhas (λ 690 nm) e verde (λ 540 nm) são cores complementares, ou seja, uma é a cor que se percebe depois que a outra é removida de um objeto. Se a luz vermelha for absorvida, a luz transmitida ou refletida será a verde e se a verde for absorvida a luz transmitida ou refletida será a vermelha. Por esse princípio se entendeu que a solução de microalgas absorva melhor as cores vermelho e verde pela solução ter a cor verde.

Perante o exposto, para o desenvolvimento da automatização desse processo utilizou-se o Led RGB (*red, green, blue*) que possibilita usar ambas as cores verde e vermelha para medição de absorvância.

A automatização neste sistema de cultivo de microalgas foi elaborada para funcionar em 3 fotobioreatores idênticos e cada biorreator terá 1 sensor respectivo. E os sensores serão controlado por um programa desenvolvido na IDE Arduino e compilado no Arduino At mega.

Este programa será usado para executar leituras de absorvância diretamente no meio de cultivo, o sistema também medirá valores de temperatura através do sensor DS18B20.

As informações geradas pelo sensor de absorvância e de temperatura são processadas pelo microcontrolador, e conectado à internet em poucos minutos usando o *shild ethernet W5100*, a monitoração da evolução do processo de cultivo das microalgas pode ser visualizada remotamente.

Com comandos executados através de botões virtuais de uma página Ethernet que funciona como sistema supervisorio, é possível escolher entre duas cores do LED (RGB) as cores vermelha e verde. A cor do Led escolhida acenderá e, então, um pequeno volume do meio de cultivo será drenado por meio da bomba esguicho de água de 12 V.

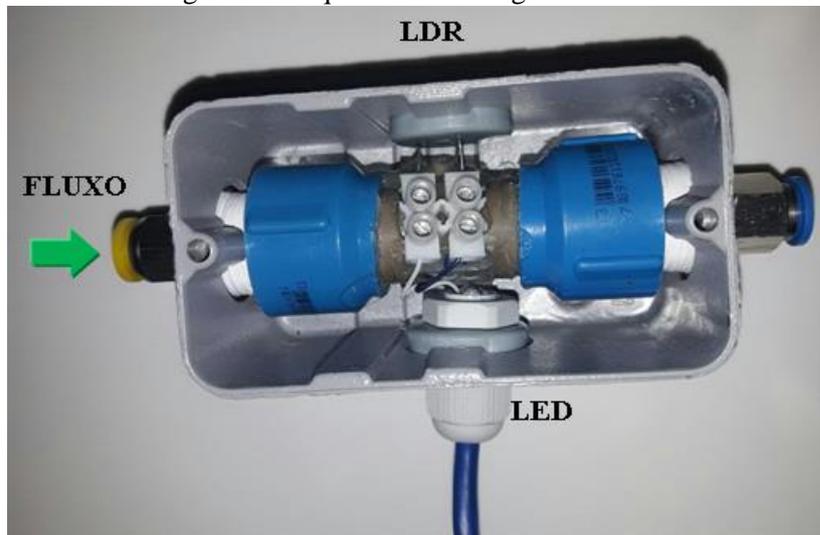
Com uma válvula solenoide controlando o fluxo de solução que passa dentro do senso. Esse fluxo circulara por um tempo de 20 segundos, o suficiente para que os possíveis resíduos de microalgas de medições anteriores sejam descolados das paredes do sensor, melhorando,

assim, a confiabilidade da análise. Após este tempo de 20 segundos, o sensor estará cheio de solução e, então, efetua a medição dos valores de temperatura apresentados em Celsius (°C) e em Fahrenheit (F) e de absorbância. Os valores obtidos são apresentados em um gráfico no mesmo sistema supervisorio que controla todo o processo.

O sensor é constituído dentro de uma caixa metálica e, no interior desta caixa, passa um tubo de PVC de 1/2" que recebe aberturas nos 2 lados onde são alocados 2 quadrados de vidro de 1 cm² para o encaixe, de um lado, do Led RGB como emissor de luz que trabalha nos complementos de onda das cores vermelha (690 nm) e verde (540 nm), e do outro lado, o LDR como coletor.

A Figura 5 apresenta o esquema de montagem do sensor.

Figura 5 – Esquema de montagem do sensor



Fonte: próprio auto

4 RESULTADOS PRELIMINARES

Foram realizados testes utilizando o protótipo desenvolvido, usando as duas cores verde e vermelha do Led RGB.

E um dos testes utilizaram-se três tubos de ensaio de vidro com tampa rosqueável de 10 ml um com somente água, outro de solução contendo aproximadamente 50% água e 50% microalgas e um último com aproximadamente 25% água e 75% microalgas. Os valores alcançados nesse teste estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Absorbância do teste preliminar

Concentração	Absorbância Cor Verde	Absorbância Cor Vermelha
75%	0,15 AU	0,12 AU
50%	0,06 AU	0,05 AU
ÁGUA	0 AU	0 AU

Fonte: próprio autor

CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos, este trabalho cumpriu seu objetivo inicial de otimizar o sistema de análise de desenvolvimento das microalgas gênero *Chlorella*. Foi possível executar, por meio dele, as medições de absorbância diretamente nos fotobioreatores e também a leitura dos resultados em tempo real através de um sistema supervisorio.

Espera-se também que este projeto possa ser estendido a outros laboratórios, após a realização de novos testes e possíveis ajustes e melhorias a serem feitos no protótipo inicial.

Vale mencionar que para dar continuidade ao projeto, o estágio do aluno Cainã Santana dos Santos, que finalizaria em dezembro, será prorrogado até a data máxima da colação de grau.

REFERÊNCIAS

AMARAL, M. S. Cultivo da microalga marinha *Chlorella sp.* como fonte de matéria prima para a produção de biodiesel. 2014. f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, 2014.

AMARO, H. M.; GUEDES, A. C.; MALCATA, F. X. Advances and perspectives in using microalgae to produce biodiesel. *Applied Energy*, v. 88, n. 10, 2011.

ARDUINO. **Arduino Mega 2560**. C2016a. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Main/arduinoBoardMega2560>>. Acesso em 24 out. 2016.

ARDUINO. **Ethernet library**. C2016b. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/reference/ethernet>>. Acesso em: 24 out. 2016.

ARDUINO. **Arduino Ethernet Shield V2**. C2016c. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoEthernetShield>>. Acesso em 24 out. 2016.

COMO FAZER AS COISAS. **Circuito com Led RGB e botões para acender cada uma das cores, simples e fácil**. 2016. Disponível em: <<http://www.comofazerascosas.com.br/circuito-com-led-rgb-e-botoes-para-acender-cada-uma-das-cores-simples-e-facil.html>>. Acesso em: 24 out. 2016.

FIALHO, A. **Automação hidráulica: projeto, dimensionamento e análise de circuitos**. 5. ed. São Paulo: Érica, 2007.

HARUN, R. et al. Bioprocess engineering of microalgae to produce a variety of consumer products. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, v.14, n .3, p.1037-1047, 2010.

HOLLER, F. J.; SKOOG, D. A.; CROUCH, S. R. **Princípios de análise instrumental**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

LAMB, F. **Automação industrial, na prática**. Porto Alegre: AMGH, 2015.

LOURENÇO, S. O. **Cultivo de microalgas marinhas: princípios e aplicações**. São Carlos: RiMa, 2006.

MATA, T. M.; MARTINS, A. A.; CAETANO, N. S. Microalgae for biodiesel production and other applications: a review. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, v. 14, n. 1, p. 217-232, 2010.

RICHMOND, A. **Handbook of microalgal culture: biotechnology and applied phycology**. Oxford: Blackwell Science, 2004.

SANTOS, L. R. **Espectrofotometria de absorção no UV-Visível**. C2016. Disponível em: <<http://www.infoescola.com/quimica/espectrofotometria/>>. Acesso em: 24 out. 2016.

SUALI, E.; SARBATLY, R. Conversion of microalgae to biofuel. **Renewable & Sustainable Energy Reviews**, v. 16, n. 6, p. 4316–4342, 2012.

Autorizamos cópia total ou parcial desta obra, apenas para fins de estudo e pesquisa, sendo expressamente vedado qualquer tipo de reprodução para fins comerciais sem prévia autorização específica do autor. Autorizo também a divulgação do arquivo no formato PDF no banco de monografias da Biblioteca institucional.

Nome do autor: Cainã Santana dos santos, Tiago Marcelino Ferreira da Costa.

Pindamonhangaba, Dezembro de 2016.