

II-492 - TRATAMENTO DE EFLUENTE EM FOTOBIOREATORES DE FLUXO CONTÍNUO ILUMINADOS POR DIODOS EMISSORES DE LUZ E PELO SOL

Rafael Souza Leopoldino Nascimento ⁽¹⁾

Graduado em Ciências Biológicas (bacharelado) pela Universidade Federal de Ouro Preto (2017) tendo participado e se destacado em iniciações científicas em áreas como fisiologia cardiovascular, microbiologia e tecnologias ambientais, com participação em congressos e publicação de artigo científico.

Raquel Gomes de Oliveira ⁽²⁾

Engenheira de Bioprocessos, Mestranda em Engenharia Ambiental.

Anibal da Fonseca Santiago ⁽³⁾

Professor do Departamento de Engenharia Civil da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP). Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Mestre em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo (USP). Doutor em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Viçosa (UFV).

Lucas Periard do Amaral ⁽⁴⁾

Graduando em Engenharia Ambiental.

Grazielle Rocha dos Santos ⁽⁵⁾

Engenheira Ambiental, Mestranda em Engenharia Ambiental.

Endereço ⁽¹⁾: Rua Diogo de Vasconcelos, 122 - Pilar - Ouro Preto - Minas Gerais- CEP: 35400-000 - Brasil - Tel: +55 (31) 3559-1324 - e-mail: rsln.bio@gmail.com

RESUMO

Sabe-se que somente 50,3% da população brasileira têm acesso a coleta de esgoto e que apenas 42% de todo esgoto gerado em território nacional é tratado. O esgoto sem tratamento causa elevados prejuízos ambientais, uma vez que causa a eutrofização dos corpos d'água e reduz drasticamente os níveis de oxigênio, impossibilitando a vida nesses locais. Além disso, a falta de saneamento básico causa inúmeras doenças, podendo levar à morte devido à contaminação. Em virtude de tais fatos, a demanda de desenvolvimento viável e mais sustentável por tratamentos de efluentes tem sido cada vez maior e o uso de fotobiorreatores com microalgas é uma opção para o tratamento de efluente, visto que tais sistemas podem ser de simples operação, baixo custo, elevada eficiência de remoção de alguns poluentes e a biomassa produzida apresenta diversas finalidades, como para produção de bioenergia e biofertilizantes. As microalgas necessitam de água e nutrientes para se desenvolverem, ambos presentes no esgoto, além de energia luminosa. Enquanto crescem, esses microrganismos removem os nutrientes presentes no esgoto, fornecem oxigênio para a degradação aeróbia da matéria orgânica pelas bactérias. Essas por sua vez produzem CO₂ que é um subproduto da respiração e serve como fonte de carbono para as microalgas. Diodos emissores de luz (LED) podem otimizar o tratamento de efluentes em fotobiorreatores, garantem homogeneidade no fornecimento de energia luminosa, são econômicos e não possuem em sua composição produtos de natureza tóxica. O objetivo do estudo foi avaliar a remoção de matéria orgânica do efluente sintético por microalgas. Foram realizados experimentos em fotobiorreatores com fluxo contínuo iluminados por diodos emissores de luz azul e luz solar. Os parâmetros analisados foram demanda química de oxigênio, clorofila *a* e sólidos suspensos totais. Os fotobiorreatores foram eficazes para a remoção de matéria orgânica, sendo 75% no fotobiorreator iluminado por LED e 65% no fotobiorreator iluminado por luz solar e LED. Valores médios de conteúdo de clorofila *a* foram de 7,1 mg L⁻¹ para o fotobiorreator iluminado por LED e para o fotobiorreator iluminado por Sol e LED foi de 8,8 mg L⁻¹. Valores encontrados de sólidos suspensos totais para o fotobiorreator iluminado por LED foram de 868 mg L⁻¹ e para o fotobiorreator iluminado por Sol e LED de 954 mg L⁻¹.

PALAVRAS-CHAVE: LEDs, Microalgas, Fotobiorreatores, Tratamento de Efluente, Remoção da Matéria Orgânica.

INTRODUÇÃO

De acordo com dados disponibilizados pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2015), somente 50,3% da população brasileira têm acesso à coleta de esgoto e de todo esgoto gerado em território nacional, apenas 42% são tratados. A situação mais corriqueira em parte considerável dos municípios

brasileiros é o lançamento de esgoto diretamente nos corpos d'água sem nenhum tipo de tratamento. Esgoto sem tratamento causa elevados prejuízos ambientais, uma vez que promovem o fenômeno de eutrofização dos corpos d'água, reduz os níveis de oxigênio impossibilitando formas de vida aeróbias nos locais atingidos. Além de tais impactos ambientais negativos, a falta de saneamento básico causa inúmeras problemas, podendo ocasionar a morte de indivíduos, devido aos riscos de se contrair doenças, gerando um grande problema de saúde pública e de gastos para o estado.

Diante de tais circunstâncias, a demanda por tratamentos viáveis e mais sustentáveis bem como o desenvolvimento científico tecnológico para estes fins, tem sido cada vez mais necessário. Assim o uso de fotobiorreatores com microalgas é uma opção para o tratamento de efluentes, tendo em vista que tais sistemas podem ser de simples operação, baixo custo, proporcionando elevada eficiência de remoção de alguns poluentes e como um dos aspectos muito positivos, a biomassa produzida apresenta diversas aplicabilidades, como produção de biofertilizantes e geração de bioenergia (YAN et al., 2013).

O esgoto doméstico se caracteriza como um excelente meio de cultivo para microalgas e o êxito em seu crescimento é alcançado com quantidades suficientes de luz, CO₂ bem como nitrogênio e fósforo, estes dois últimos estando presentes em abundância no esgoto. (CHEN et al., 2013). Enquanto ocorre adensamento populacional das microalgas elas atuam removendo os nutrientes do esgoto por assimilação, utilizam-se também da matéria orgânica como fonte de carbono, fornecem oxigênio para a degradação aeróbia da matéria orgânica pelas bactérias. Essas por sua vez produzem CO₂ que é um subproduto da respiração, e serve como fonte de carbono para as microalgas. Diversos estudos afirmam que microalgas podem apresentar taxa de crescimento elevada quando cultivadas em esgoto (YUN et al., 1997; CHO et al., 2011; MUTANDA et al., 2011).

Microalgas são seres microscópicos e podem ser cultivadas em ambientes abertos como lagoas de alta taxa ou fotobiorreatores, com a vantagem de se produzir maior biomassa. O termo microalgas não possui valor taxonômico, são microrganismos de tamanho variado, que variam de 5-50 µm que possuem clorofila a bem como outros pigmentos fotossintetizantes, envolve seres unicelulares e pluricelulares, planctônicos e bentônicos, podendo ser procariontes ou eucariontes. Além de serem classificadas em função de ausência e presença de membrana celular, podem ser classificadas de acordo com sua fonte de carbono, sendo denominadas em: autotróficas, heterotróficas, mixotróficas e fotoheterotróficas (SILVA, 2015).

Microalgas podem ser cultivadas em fotobiorreatores que podem ser definidos como sistemas fechados ou parcialmente fechados, que visam de maneira fototrófica fornecer energia a partir de iluminação solar ou artificial, para o crescimento de determinado ser vivo sob direta influência da luz (SILVA, 2015). A energia que as microalgas utilizam resulta da radiação de alguma fonte luminosa, bem como pela quebra de ligações químicas de moléculas orgânicas presentes no meio de cultivo (SILVA, 2015). A luz solar tende a variar com o ciclo diário. Desse modo pode ocasionar danos ao fotossistema das microalgas pelo excesso de luminosidade ou pode inibir o crescimento devido à falta de luz em dias chuvosos e nublados. Afim de viabilizar, diante de tais empecilhos, a luz artificial é alternativa pois pode-se utilizar determinado comprimento de onda específico para otimizar o desempenho das microalgas para o crescimento. Diferente de outras possíveis fontes de luz artificiais, a utilização de diodos emissores de luz (LEDs) surge no intuito de contornar limitações, possibilitando crescimento adequado da biomassa, visto também que possui baixo consumo de energia, alta durabilidade, não contendo em sua constituição substâncias tóxicas como mercúrio. (CHEVREMONT, 2012).

Há numerosos estudos como os de Zhao et al. (2013), Blair et al. (2014), Atta et al. (2013), que se propõem investigar a utilização de LEDs e microalgas para avaliar a remoção de matéria orgânica, nutrientes e crescimento de biomassa das microalgas. Tais estudos utilizam-se de fotobiorreatores de pequena escala (erlenmeyers) operando em regime de batelada bem como utilizando cultura pura de microalgas, tornando o uso dessa tecnologia difícil pois em efluentes é raro de se contemplar que apenas uma espécie cresça. Há estudos da mesma natureza que se propõe a avaliar a remoção de poluentes em fotobiorreatores, porém fazendo uso somente de luz solar como Woertz et al. (2009), que realizaram experimentos com águas residuais municipais coletadas na Califórnia, onde testaram diferentes tempos de retenção hidráulica (TRH) em fotobiorreatores de pequena escala operados de forma semicontínua, avaliando redução de nitrogênio amoniacal, fósforo e produção de lipídios para biocombustíveis. No presente estudo optou-se pela operação em fluxo contínuo no fotobiorreator iluminado por LED (A) e fotobiorreator iluminado por Sol e LED (B), visando a remoção de matéria orgânica e crescimento da biomassa algal.

OBJETIVO DO TRABALHO

Avaliar a remoção de matéria orgânica em efluente sintético por microalgas cultivadas em fotobiorreatores de fluxo contínuo com diferentes configurações de iluminação, sendo luz artificial (LEDs azuis) e luz solar. Analisar o comportamento do pH, oxigênio dissolvido, temperatura e avaliar o crescimento da biomassa algal nos diferentes fotobiorreatores, utilizando os parâmetros clorofila *a* e sólidos totais.

METODOLOGIA UTILIZADA

COLETA E PREPARO DO INÓCULO

A amostra utilizada como inóculo, foi coletada de um tanque de criação de peixes, localizado no Horto Botânico do Instituto de Ciências Exatas e Biológicas (ICEB), na Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP). Foram coletados aproximadamente 3 L de amostra em um recipiente plástico, posteriormente conduzido ao Laboratório de Saneamento Ambiental (LSA) da UFOP. O intuito de se utilizar um inóculo como esse é o de avaliar o que aconteceria em um tratamento de esgoto real e de larga escala, onde é difícil o controle das espécies ali presentes. Diante disso, inocular somente uma espécie não iria refletir a realidade. A amostra então coletada foi introduzida em 17 L de efluente sintético, produzindo 20 L de inóculo, tendo sido então preparado em uma caixa preta de polietileno com capacidade para 24 L. O meio de cultivo foi elaborado segundo a Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD, 1996). Houve acréscimo na quantidade do reagente extrato de carne ao efluente. A modificação se fez necessária para que a Demanda Química de Oxigênio (DQO) apresentasse valores que correspondessem aos valores do efluente doméstico real, que se apresenta numa faixa de 450- 800 mg/L de acordo com VON SPERLING (2005).

Para manter o inóculo foi montada uma placa contendo fitas de LED 3528 IP20 3M de cor branca e intensidade luminosa de $160 \mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$ operado 24 horas. Uma bomba de aquário submersa (Sarlo Better SB 1000 A) foi utilizada para se obter uma melhor distribuição das microalgas e que as mesmas recebessem luminosidade de forma homogênea.

FOTOBIORREACTORES E ANÁLISES REALIZADAS

Antes de se iniciar os experimentos, foram montados dois fotobiorreatores, construídos em recipientes de polietileno com 20 cm de largura, 9 cm de altura e volume total de 4 litros. Foram inicialmente adicionados, 1 litro de inóculo e 2 litros de efluente sintético em cada fotobiorreator e os mesmos foram operados em regime de fluxo contínuo, com tempo de detenção hidráulica de um dia (TDH = 1 dia). Os fotobiorreatores receberam efluente sintético por meio de um registro, com vazão de 1,4 mL/ min, totalizando ao final de 24 horas o volume de 2 L de efluente sintético consumido em cada fotobiorreator. Foi instalado um sistema de agitação lenta, utilizando bombas de aquário submersas (Sarlo Better SB 1000A) com o objetivo de uniformizar o contato da biomassa com a luz artificial disponibilizada acima da superfície do líquido. Foi utilizada iluminação artificial através de LEDs da cor azul (lâmpadas de LED PAR 30/E27) e fluxo luminoso de $700 \mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$ e luz solar. A intensidade luminosa foi devidamente aferida com um Foto/Radiômetro Delta OHM modelo HD21012.1. A distância entre o LED e a lâmina d'água do fotobiorreator era de 7 cm. O fluxo luminoso escolhido foi o que apresentou melhor desempenho nas pesquisas de Silva (2016), na qual avaliou fotobiorreatores com diferentes comprimentos de onda e fluxo luminoso. Durante os ensaios, um reator foi mantido sob iluminação artificial (Fotobiorreator LED) (Fotobiorreator A) por todo tempo de operação (24 horas por dia) e o outro reator foi exposto à luz solar durante aproximadamente 8 horas por dia e as outras 16 horas do dia foi exposto aos LEDs (Fotobiorreator Sol e LED) (Fotobiorreator B). A figura 1 ilustra o tipo de iluminação e a frequência de cada iluminação utilizada em cada fotobiorreator. Para abastecer diariamente os fotobiorreatores, foi utilizado o efluente sintético doméstico elaborado segundo a Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD, 1996).

Todos os ensaios foram executados no Laboratório de Saneamento Ambiental (LSA), e área aberta nas proximidades do mesmo, nas dependências da Universidade Federal de Ouro Preto, Campus Morro do Cruzeiro, Ouro Preto, Minas Gerais. As análises foram realizadas de acordo com os métodos padrões (APHA, 2012) sendo elas: a demanda química de oxigênio (DQO) (5220 D - amostra filtrada a $0,45 \mu\text{m}$) e sólidos suspensos totais (SST) (2540 E - amostra filtrada a $1,2 \mu\text{m}$). A análise de clorofila *a* foi realizada utilizando-se técnica de extração com etanol 80% a quente como descrito na norma holandesa (NUSH, 1981) conforme detalhes apresentados em Nush (1980). Foram avaliados ainda pH e temperatura no multiparâmetro

Ultrameter II 6Pda Myron L Company, e oxigênio dissolvido através de um medidor portátil multifunção de dois canais HACH 40d.

Os fotobiorreatores, iluminado por LED e iluminado por Sol e LED foram operados durante 76 dias. Durante a realização do experimento, foram avaliadas diariamente os seguintes parâmetros: pH, oxigênio dissolvido (OD), temperatura (°C). A cada dois dias, além dos parâmetros acima citados, analisou-se clorofila *a*, demanda química de oxigênio (DQO) e sólidos suspensos totais (SST), contabilizando seis análises durante toda execução do experimento. Clorofila *a* bem como sólidos suspensos totais foram determinados afim de avaliar o crescimento da biomassa algal. A demanda química de oxigênio para remoção de matéria orgânica. Temperatura, oxigênio dissolvido e pH foram determinantes para avaliar e comparar o comportamento de ambos reatores.

Em poder de um microscópio Olympus CX 3 equipado com câmera SC 30, acoplado a um computador, e a partir do programa anlySIS getIT versão 5.1, foram tiradas algumas fotomicrografias das amostras preservadas em etanol (proporção 1:1), conforme descrito por Eland et al., (2012). Utilizou-se para obter mais informações sobre os gêneros o site www.algabase.org. Este site funciona como banco de dados de informações sobre algas que inclui organismos de água doce, marinhos e terrestres.

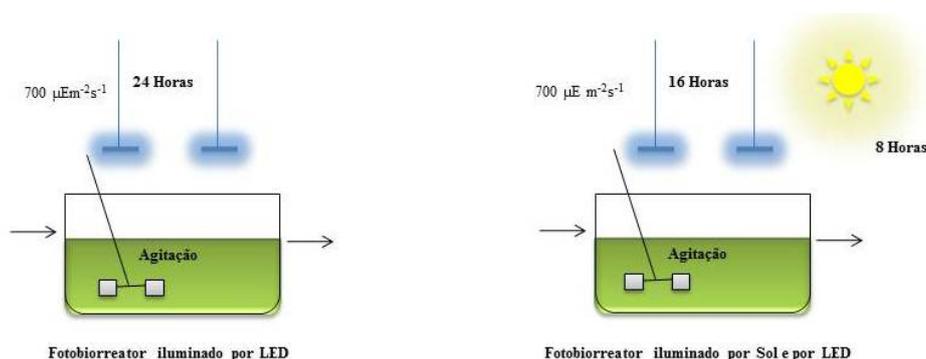


Figura 1: Esquema apresentando o tipo de iluminação e a frequência de cada iluminação utilizada em cada fotobiorreator.

RESULTADOS OBTIDOS

Após as devidas análises das fotomicrografias retiradas das amostras dos fotobiorreatores como pode ser observada na figura 2, chegou-se à conclusão que o mesmo gênero estava presente em ambos fotobiorreatores. O filo era Chlorophyta, classe: Trebouxiophyceae, ordem: Chlorellales, família: Chlorellaceae e gênero: *Chlorella* Beijerinck 1890 (Beijerinck).

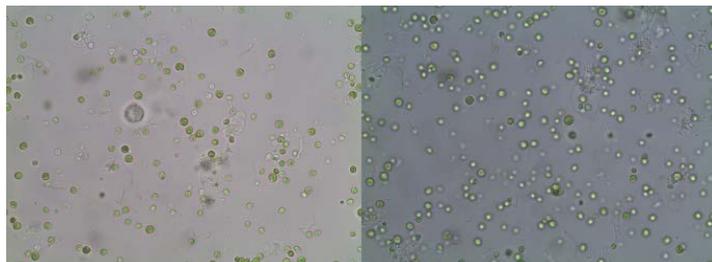


Figura 2: Micrografias das microalgas em ambos fotobiorreatores (aumento de 40 vezes)

Os indivíduos desse gênero são solitários e de vida livre. As células são em geral esféricas, elipsoidais ou ovoides. Os representantes desse gênero são habitantes principalmente de plânctons de sistemas de águas paradas, como lagos e reservatórios. Compreendem cerca de 14 ou 15 espécies conhecidas no mundo inteiro. No Brasil são conhecidas 4 espécies: *C. homosphaera*, *C. minutíssima*, *C. oocystoides* e *C. vulgaris* (BICUDO e MENEZES, 2006). A identificação predominante foi apenas de um único gênero pelas fotos, podendo ser

encontrados outros gêneros em menor quantidade que provavelmente influenciaram em alguns resultados. Portanto, são necessários estudos mais aprofundados relacionando o desempenho de fotobiorreatores em culturas mistas de vários gêneros.

Durante os primeiros dez dias de experimento, em ambos fotobiorreatores o oxigênio dissolvido (OD) manteve-se baixo, (valores 0,1-4,8 mg.L⁻¹) o que demonstrou que a produção de OD na fotossíntese não atendia a demanda para degradação da matéria orgânica. Em virtude de tal constatação houve uma diminuição da vazão de entrada do efluente sintético, passando de 2,8 mL/min para 1,4 mL/min, bem como do tempo de detenção hidráulica (THD) de TDH= 0,5 dia (vazão de 4 litros/dia) para TDH= 1 dia (vazão de 2 litros/dia). Com a mudança na vazão de entrada de efluente, observou-se um aumento nos níveis séricos de OD em ambos fotobiorreatores, a partir do décimo segundo dia, como pode ser observado na figura 3. O aumento da concentração de OD resultou do crescimento das microalgas pelo processo de fotossíntese que tem como subproduto o O₂, maior que o demandado para a degradação da matéria orgânica.

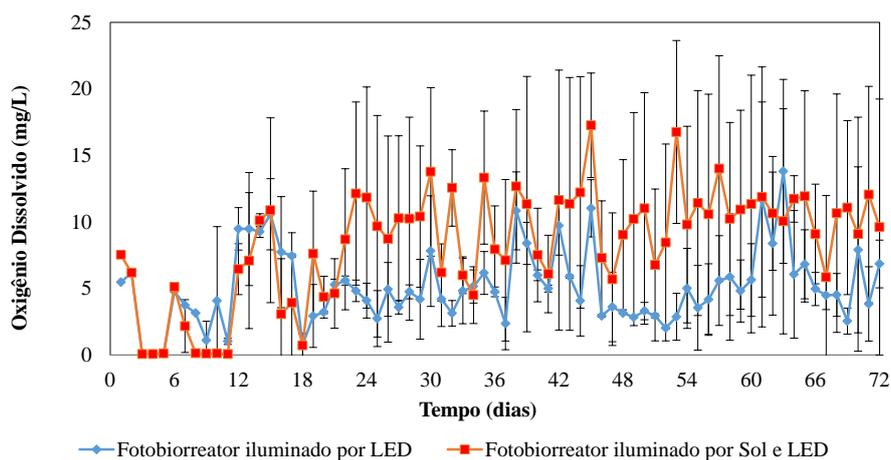


Figura 3: Concentração de oxigênio dissolvido no fotobiorreator iluminado por LED e no fotobiorreator iluminado pela luz solar e por LED.

A média geral de OD encontrado para o fotobiorreator iluminado por LED foi de $5,1 \pm 2,8$ mg L⁻¹ e o mesmo apresentou coeficiente de variação (CV) de 55,1%, enquanto o valor médio geral de OD encontrado para o fotobiorreator iluminado por Sol e LED foi de $8,4 \pm 4,1$ mg L⁻¹ e CV de 49,4%. Observa-se por tanto que o fotobiorreator iluminado por Sol e LED apresenta resultados com dispersão próximos em relação ao resultado médio do fotobiorreator iluminado por LED.

Com relação à temperatura, de acordo com Lourenço (2006), para o crescimento das microalgas a faixa de temperatura tida como ótima encontra-se entre 20°C a 30°C e os resultados obtidos nesse estudo estão nessa faixa. A média geral para o fotobiorreator iluminado por Sol e LED foi de $27^\circ\text{C} \pm 2,1^\circ\text{C}$ e coeficiente de variação (CV) de 7,83%. O fotobiorreator iluminado por LED apresenta maior constância no que tange a temperatura possivelmente por estar condicionado em laboratório onde a temperatura se mantém mais estável. O mesmo apresentou média geral de $25^\circ\text{C} \pm 0,7^\circ\text{C}$ e CV de 2,91%. Na figura 4 tem-se o comportamento da temperatura ao longo do período de operação do experimento no fotobiorreator iluminado por LED e no fotobiorreator iluminado pelo Sol e por LED.

Nesse projeto de pesquisa a temperatura variou dentro da faixa apresentada nos estudos como de Katsuda et al. (2004) onde esse parâmetro era controlado em 20°C, Yan et al. (2012) onde manteve-se a temperatura em 25°C e Wang et al. (2007) onde a temperatura foi controlada em 30°C.

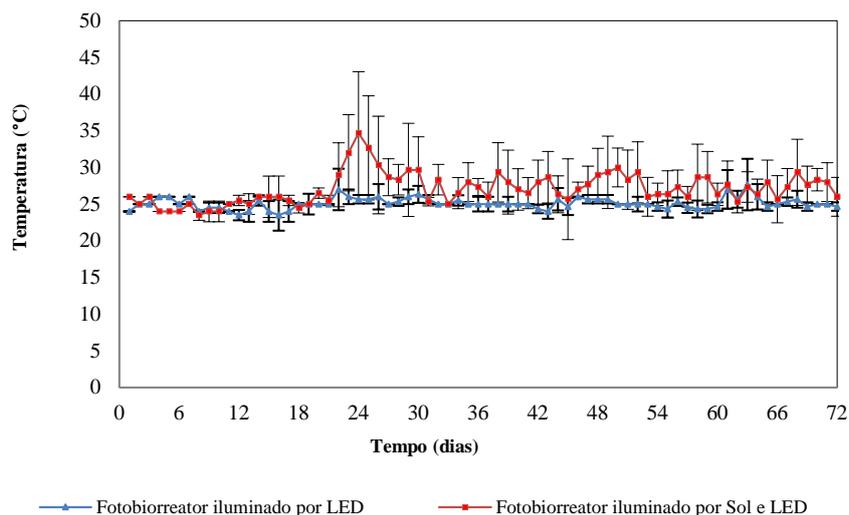


Figura 4: Temperatura registrada ao longo do período do experimento no fotobiorreator iluminado por LED e fotobiorreator iluminado pelo Sol e por LED.

Com relação ao pH o fotobiorreator iluminado por LED apresentou média geral de $8,0 \pm 0,6$ e CV de 7,2% enquanto que o fotobiorreator iluminado por Sol e LED apresentou média de $7,9 \pm 0,5$ e CV de 6,5%. Os valores de pH estão apresentados na figura 5. A elevação do pH em cultivos fotossintéticos é indicador de consumo de carbono inorgânico devido ao crescimento das microalgas de acordo com Lee (2008).

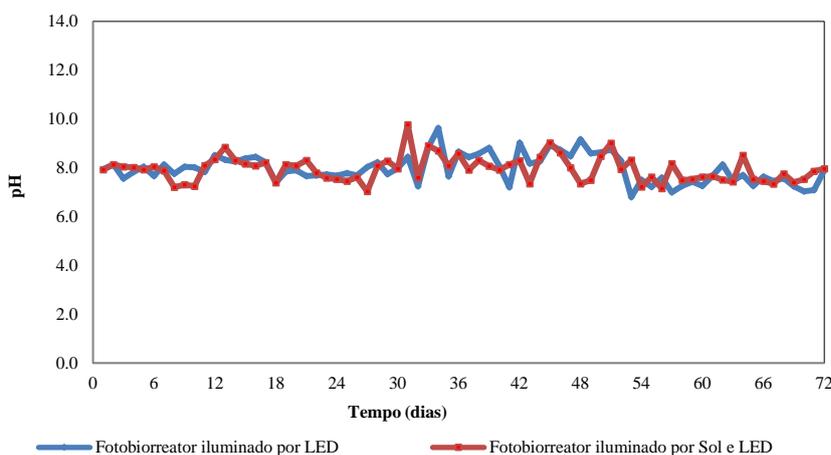


Figura 5: Valores de pH ao longo do experimento para o fotobiorreator iluminado por LED e para o fotobiorreator iluminado pelo sol e por LED.

Clorofila *a* é um dos componentes celulares úteis para estimar a biomassa algal em cultivos de microalgas, sendo utilizada como parâmetro de crescimento (VENEZELA-ESPINOZA et al., 2002). O valor médio de clorofila encontrado para o fotobiorreator iluminado por LED foi $7,1 \pm 3,8$ mg L⁻¹ e o mesmo apresentou um coeficiente de variação (CV) de 53%, enquanto o valor médio de clorofila encontrado para o fotobiorreator iluminado por Sol e LED foi $8,8 \pm 3,3$ mg L⁻¹ e o coeficiente de variação de 37%. Observa-se, portanto, que o fotobiorreator iluminado apenas por LED apresenta resultados com maior dispersão em relação ao resultado médio. A figura 6 ilustra a concentração de clorofila *a* em ambos fotobiorreatores.

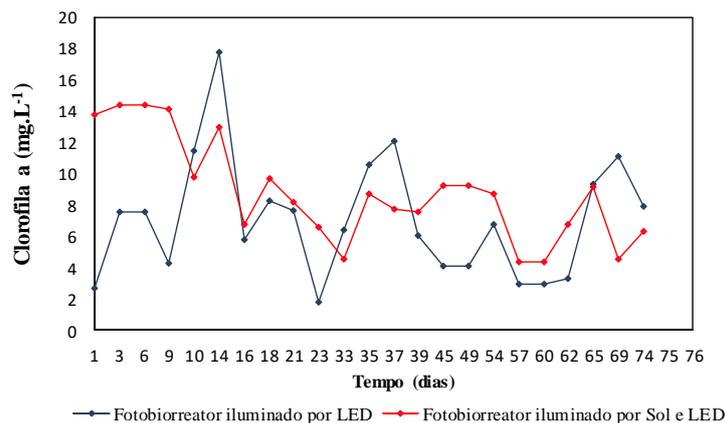


Figura 6: Concentração de clorofila *a* no fotobiorreator iluminado por LED e no fotobiorreator iluminado pelo Sol e por LED.

Com relação aos sólidos suspensos totais (SST), o valor médio encontrado para o fotobiorreator iluminado por LED foi $868 \pm 594 \text{ mg.L}^{-1}$ e o CV de 68%, enquanto para o fotobiorreator iluminado por Sol e LED o valor médio de SST foi de $954 \pm 549 \text{ mg.L}^{-1}$ e o CV 58%. Assim como nos resultados de clorofila, observa-se que o fotobiorreator iluminado apenas por LED apresenta resultados de SST com maior dispersão em relação ao valor médio. Silva (2016), apresentou na etapa de triagem, maior valor de sólidos suspensos totais de 600 mg.L^{-1} utilizando LED azul e intensidade luminosa de $1250 \mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$ por oito dias, já na etapa de superfície de resposta valor próximo a $500 \mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$ foi alcançado utilizando LED azul, com $700 \mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$ por quinze dias. O presente estudo apresentou, portanto, valores mais elevados de SST. A figura 7 apresenta os valores de SST nos fotobiorreatores.

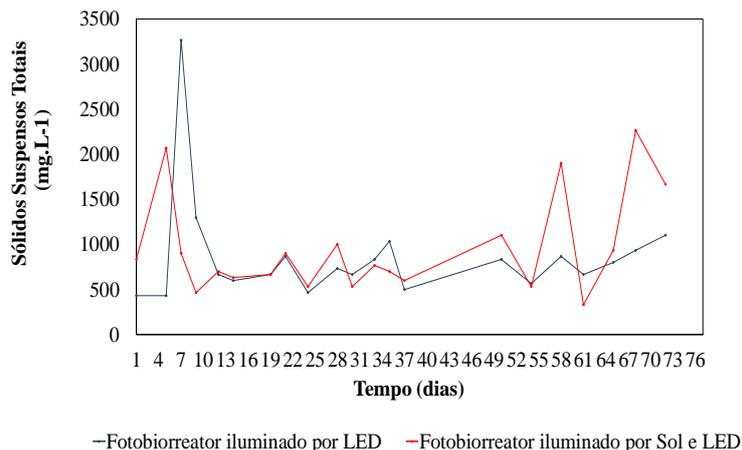


Figura 7: Concentração de Sólidos Suspensos Totais no fotobiorreator iluminado por LED e no fotobiorreator iluminado pelo Sol e por LED.

Com relação aos valores da demanda química de oxigênio (DQO), o fotobiorreator iluminado por LED apresentou uma eficiência de remoção média de $75 \pm 11\%$ de DQO e CV de 14% enquanto o reator iluminado pelo Sol e por LED obteve uma eficiência inferior, sendo $65 \pm 16\%$ de remoção e CV de 25%. Estes resultados estão representados na figura 8. O fotobiorreator iluminado por Sol e LED apresentou, portanto, resultados com maior dispersão em relação ao valor médio. Os resultados de remoção de DQO encontrados foram similares aos de Yan et al. (2013) que alcançaram remoções de DQO de 76,02% e 76,46% utilizando o comprimento de onda vermelho e intensidade luminosa de $2000 \mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Com o LED azul e intensidade de $2000 \mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$, o melhor resultado obtido para remoção de DQO foi de 48,42%. Estes resultados foram inferiores aos resultados de Silva (2016), na qual obteve remoções de 88,88% e 89,97% de DQO, sendo o primeiro resultado obtido em fotobiorreator iluminado com LED azul e fluxo de $500 \mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$ operando por

12 dias e o segundo resultado no fotobiorreator iluminado por LED azul com fluxo luminoso de $700 \mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$ operado por 15 dias.

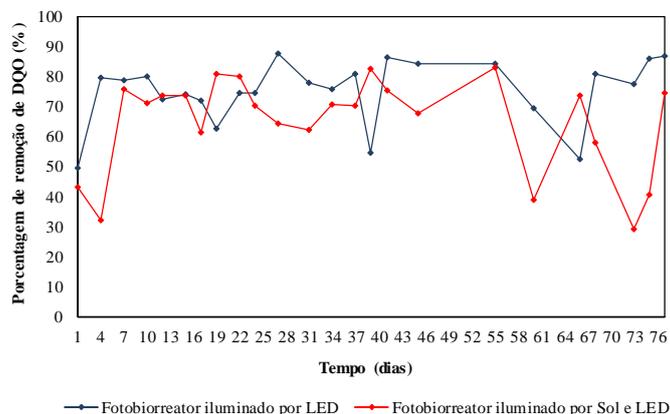


Figura 8: Remoção de DQO no fotobiorreator iluminado por LED e fotobiorreator iluminado pelo Sol e por LED.

A Figura 9 apresenta a concentração de DQO afluente ao longo do período de operação do experimento e a DQO efluente ao fotobiorreator iluminado por LED e ao fotobiorreator iluminado pelo Sol e por LED durante o mesmo período de operação. Observa-se que a DQO média de entrada em ambos fotobiorreatores esteve por volta de 800 mg.L^{-1} .

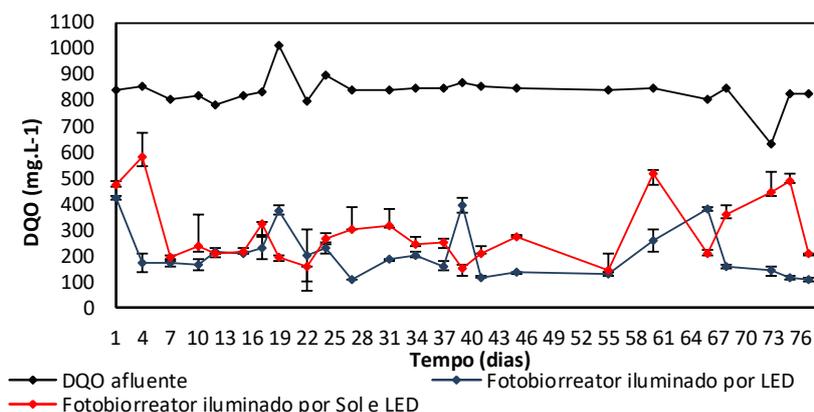


Figura 9: Demanda Química de Oxigênio (DQO) afluente e efluente no fotobiorreator iluminado por LED (24 horas/dia) e no fotobiorreator iluminado pelo Sol (~8 horas/dia) e por LED (~16 horas/dia).

CONCLUSÕES

A partir das análises das variáveis, observou-se que os fotobiorreatores apresentaram desempenho interessante até o presente momento. Dos resultados preliminares, as melhores remoções de matéria orgânica foram de aproximadamente $75 \pm 11\%$ no fotobiorreator iluminado por LED azul (durante 24 horas por dia) e $65 \pm 16\%$ no fotobiorreator iluminado por LED azul (16 horas) e luz solar (8 horas). Valores médios de oxigênio dissolvido mantiveram-se próximos entre o fotobiorreator iluminado por LED $7,71 \text{ mg L}^{-1}$ bem como para o fotobiorreator iluminado por LED azul e luz solar $5,79 \text{ mg L}^{-1}$. Estes resultados encontrados foram similares para valores médios de sólidos suspensos totais, onde o fotobiorreator iluminado por LED azul apresentou valor de 911 mg L^{-1} e o fotobiorreator iluminado por LED azul e luz solar 833 mg.L^{-1} resultados esses que evidenciam a eficiência do sistema.

AGRADECIMENTO

À CAPES, à FAPEMIG, à Fundação Gorceix e à UFOP pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA. Standard Methods for examination of water and wastewater. Washington: American Water Work Association. Water Environmental Federation. 2012.
2. ATTA, M., IDRIS, A.BUKHARI, A., WAHIDIN, S. *Intensity of blue LED light: A potential stimulus for biomass and lipid content in fresh water microalgae Chlorella vulgaris*. Bioresource Technology. v. 148. p. 373-378. 2013.
3. BICUDO C.E.M. E MENEZES M. Gêneros de algas de águas continentais do Brasil: chave para identificação e descrições. 2ªed. RIMA, São Carlos. 2006.
4. BLAIR, M.F.; KOKABIAN, B.; GUDE, V.G. *Light and growth medium effect on Chlorella vulgaris biomass production*. Journal of Environmental Chemical Engineering. v. 2. p. 665-674. 2014.
5. CHEN, K.L.Y.; CHUN Y. *Cultivation, photobioreactor design and harvesting of microalgae for biodiesel*. Bioresource Technology. p71 -81. 2013.
6. CHEVREMONT, A. C.; FARNET, A.M.; COULOMB, B.; BOUDENNE, J.L. *Effect of coupled UV-A and UV-C LEDs on both microbiological and chemical pollution*. Science of the Total Environment. p. 304-310. 2012.
7. CHO, S.; LUONG, T.T.; LEE, D.; OH, Y. K.; LEE, T. *Reuse of effluent water from a municipal wastewater treatment plant in microalgae cultivation for biofuel production*. Biossource Technology. p 8639-8645. 2011.
8. ELAND, E.L.; DAVENPORT, R.; MOTA C. R. *Evaluation of DNA extraction methods for freshwater eukaryotic microalgae*. Water Research. p 5355-5364. 2012.
9. KATSUDA, T.; LABABPOUR, A.; SHIMAHARA, K.; KATOH, S. *Astaxanthin production by Haematococcus pluvialis*. Science Direct, v.35 (1) p. 81-86. 2004.
10. LEE, R. E. **Phycology**. Ed. 4Cambridge University. 2008.
11. LOURENÇO, S.O. Cultivo de microalgas marinhas: Princípios e aplicações. São Carlos-SP: Editora RiMa, 588p. 2006.
12. MUTANDA, T., KARTHIKEYAN, S., BUX, F. *The utilization of post-chlorinated municipal domestic wastewater for biomass and lipid production by Chlorella spp. under batch conditions*. Appl. Biochem. Biotechnol. V.164, p. 1126–1138. 2011.
13. NUSH, Netherlands Norm (NEN 6520) (1981). Norma holandesa sobre determinação de clorofila a pelo método do etanol. 4 pp.
14. OEDC: Guidelines for testing of chemicals simulation teste-Aerobic sewage treatment. Technical Report. Organization for Economic Co-operation and Development (OEDC), Paris, 1996.
15. SILVA, G. M. Z.; Avaliação preliminar do tratamento de efluente em fotobiorreatores de microalgas iluminados por Diodos emissores de luz (LEDs) de intensidades luminosas menores. Monografia – Instituto de Ciências Exatas e Biológicas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto. 2015.
16. SILVA, L. M. L. Avaliação de fotobiorreatores iluminados por diodos emissores de luz para o tratamento de efluentes domésticos. 176 f, 2016. Dissertação (mestrado) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto. 2016.
17. SNIS: Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2015. Brasília, 2017.
18. VENEZELA-ESPINOZA. E.; MILLÁN-NÚÑEZ, R.; NÚÑEZ-CEBRERO, F. *Protein, carbohydrate, lipid and chlorophyll a content in Isochrysis aff. galbana (cloneT Iso) cultured with a low cost alternative to the f/2 medium*. Aquacultural Engineering, v. 25 p.207–216, 2002.
19. VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Vol 1. 3ªed. UFMG. Belo Horizonte. 2005.
20. WANG C. Y.; FU, C. C.; e LIU Y. C. *Effects of using light-emitting diodes on the cultivation of Spirulina platensis*. Biochemical Engineering Journal. 37(1) p. 21–25, 2007.
21. WOERTZ, I.; FEFFER, A.; LUNDQUIST, T.; NELSON, Y. *Algae Grown on Dairy and Municipal Wastewater for Simultaneous Nutrient Removal and Lipid Production for Biofuel Feedstock*. Journal of Environmental Engineering, v.11, p. 1115-1122. 2009.
22. YAN, C.; ZHANG, L.; LUO, X.; ZHENG, Z. *Effects of various LED light wavelengths and intensities on the performance of purifying synthetic domestic sewage by microalgae at different influent C/N*. Ecological Engineering. v. 51, p 24- 32. 2013.

23. YAN, C.; LUO, X.; ZHENG, Z. *Performance of purifying anaerobic fermentation slurry using microalgae in response to various LED light wavelengths and intensities*. Journal of Chemical Technology and Biotechnology. v. 88 (9), p- 1622- 1630. 2012.
24. YUN, Y. S; LEE, S. B; PARK, J. M; LEE, C. I; YANG, J. W. *Carbon dioxide fixation by algal cultivation using wastewater nutrientes*. J Chem Technol Biotechnol. 1997.
25. ZHAO, Y.; WANG, J.; ZHANG, H.; YAN, C.; ZHANG, Y. *Effects of various LED light wavelengths and intensities on microalgae-based simultaneous biogas upgrading and digestate nutrient reduction process*. Bioresource Technology. v. 136, p. 461-468. 2013.