

II-286 – EFEITOS DO FOTOPERÍODO E CARGA DE NUTRIENTES NO CRESCIMENTO DE *DESMODESMUS SUBSPICATUS* CULTIVADA EM ESGOTO DOMÉSTICO PARA PRODUÇÃO DE BIODIESEL

Sílvia Mariana S. Barbosa ⁽¹⁾

Bacharel em Ciências Biológicas/Ambientais pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Mestre e doutoranda em Engenharia Civil (Tecnologia Ambiental) pela UFPE.

Marcella Vianna Cabral Paiva ⁽²⁾

Bacharel em Ciências Biológicas/Ambientais pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) Mestre e doutoranda em Engenharia Civil (Tecnologia Ambiental) pela UFPE.

Sávia Gavazza ⁽³⁾

Engenheira Civil pela Universidade Federal de Alagoas (UFAL). Doutorado em Engenharia Civil (Hidráulica e Saneamento) pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC-USP). Professora Associada da UFPE. Pós-doutorado na Universidade de Cornell (EUA) e Universidade de Toronto (Canadá).

Mario Takayuki Kato ⁽⁴⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Mestrado em Engenharia Civil (Hidráulica e Saneamento) pela EESC-USP. Doutorado em Tecnologia Ambiental e Ciências da Agricultura pela Universidade de Wageningen (Holanda). Professor Titular da UFPE.

Lourdinha Florencio ⁽⁵⁾

Engenheira Civil pela UFPE. Mestrado em Engenharia Civil (Hidráulica e Saneamento) pela EESC-USP. Doutorado em Tecnologia Ambiental e Ciências da Agricultura pela Universidade de Wageningen (Holanda). Professora Titular da UFPE.

Endereço: Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências. Departamento de Engenharia Civil. Laboratório de Saneamento Ambiental (LSA – UFPE). Av. Acadêmico Hélio Ramos, s/n. Cidade Universitária. CEP: 50740-530 Recife PE, Brasil. Tel: (81) 2126-8742 e-mail: flor@ufpe.br; barbosasms@gmail.com

RESUMO

No presente estudo foram avaliados aspectos referentes ao crescimento, a estocagem de lipídeos e a captura de nutrientes do meio a partir da espécie de microalga *Desmodesmus subspicatus* cultivada em efluente doméstico bruto e tratado. A espécie foi submetida ao metabolismo autotrófico com iluminação constante (24 h) e heterotrófico sem iluminação; e para avaliar o metabolismo mixotrófico, foi aplicado fotoperíodo de 12:12 h fase clara e escura, respectivamente. Dos resultados obtidos, com relação aos aspectos de crescimento, se destacaram os cultivos submetidos aos metabolismos autotrófico e mixotrófico em efluente bruto. A espécie, obteve 3 picos de crescimento, no 8^o, 13^o e 21^o dias, quando cultivada fototroficamente. No entanto, a densidade celular máxima (DCM), a produtividade (P), e a taxa de crescimento (r) foram maiores quando cultivadas mixotroficamente durante a fase exponencial de crescimento (4^o ao 13^o dia), sendo 1988.10⁴ cel.mL⁻¹, 0,347 mg.L⁻¹.dia⁻¹, 0,277 dia⁻¹, respectivamente. O menor tempo de duplicação celular (k) de 0,138 dia⁻¹) também foi observado para *D. subspicatus* quando submetida a metabolismo mixotrófico. No entanto, esta espécie cultivada sob metabolismo autotrófico, obteve uma captura de nutrientes mais rápida, obtendo-se a total depleção de P-PO₄³⁻ e N-NH₄⁺, no 3^o e 4^o dias, respectivamente. Para os cultivos realizados no efluente final, a espécie obteve os melhores resultados em termos de crescimento também na condição mixotrófica, onde se atingiu uma DCM de 1788.10⁴ cel.mL⁻¹, produtividade (P) 0,333 mg.L⁻¹.dia⁻¹, taxa de crescimento (r) de 0,268 dia⁻¹ e um tempo de duplicação celular (k) de 0,144 dia⁻¹. No entanto, a total depleção de nutrientes foi observada no 2^o dia de cultivo na condição autotrófica, e mixotrófica paralelamente. Uma maior estocagem lipídica foi observada nos cultivos realizados mixotroficamente, porém uma maior concentração foi avaliada para o efluente final. Os resultados indicam que o comportamento mais favorável ao crescimento na condição mixotrófica, deve-se à necessidade de se obter uma fase escura paralela à clara para que se otimize a multiplicação celular. Já o rendimento lipídico, deve-se a um maior período de escassez nutricional sofrido pela biomassa no efluente tratado.

PALAVRAS-CHAVE: Microalgas, lipídeos, metabolismo, densidade celular, produtividade, crescimento

INTRODUÇÃO

Tecnologias baseadas na produção de microalgas para geração de bioenergia, já são estudadas há pelo menos 50 anos. No entanto, nos últimos anos os estudos sobre o tema têm aumentado em razão da crescente demanda por energia e os altos custos de produção e transporte do petróleo, além dos impactos ambientais negativos causados pela queima de combustíveis fósseis (BRENNAN *et al.*, 2010).

Inúmeras culturas vegetais como, milho, soja, girassol, palma e cana de açúcar podem ser utilizadas para este fim; no entanto, a produção de biodiesel a partir dessas espécies oleaginosas compete com a de alimentos, já que ambas necessitam de grandes áreas férteis para cultivo. Essa prática também tem aumentando a necessidade de desmatamento para obtenção de áreas livres, comprometendo a biodiversidade de uma região; além de promover mudanças na estrutura do mercado de alimentos, com aumento de preços e o uso de práticas agrícolas insustentáveis, e até mesmo a dinâmica social de uma região (DEMIRBAS, 2011).

A produção de biocombustível a partir de microalgas tem como principais vantagens: (i) a de não competir por áreas agricultáveis, (ii) não necessitar de agrotóxicos e consumo excessivo de água, e (iii) apresentar um alto rendimento de biomassa com elevado teor de triglicerídeos, essencial à produção de biocombustível. O cultivo para este fim, também pode ser realizado com a utilização de águas residuárias, desde que contenham teor satisfatório de carbono e nutrientes dissolvidos, como é o caso dos esgotos domésticos e vários efluentes industriais. Logo, esta prática também está associada à remediação dessas águas (BAHADAR *et al.*, 2013; CHISTI, 2007).

O cultivo de algas de forma controlada é normalmente realizado em sistemas abertos ou fotobiorreatores fechados em diversas escalas. Nesses sistemas o cultivo pode ser conduzido de modo a se obter ganhos no volume da biomassa, produtividade lipídica e a remoção dos nutrientes e matéria orgânica. A eficiência desta prática depende principalmente de: (i) espécie (s) envolvida(s), (ii) do aporte de carbono e nutrientes, e também (iii) das condições de iluminação (MATA *et al.*, 2010b).

Algumas espécies podem assumir diversos tipos de metabolismo, como o autotrófico, o heterotrófico e o mixotrófico, de acordo com o fotoperíodo ao qual são submetidas. Outros grupos ainda possuem a capacidade de modificar o metabolismo como resposta a alterações no meio. Essas alterações metabólicas podem atuar de modo a favorecer o desempenho de crescimento celular, a taxa de remoção de nutrientes do meio, ou mesmo, a estocagem de biomoléculas ativas, principalmente quando submetidas a um período de escassez nutricional, sendo uma estratégia para a produção controlada em larga escala, quando o objetivo é a produção de biomassa para a obtenção de biocombustíveis. (LI *et al.*, 2011; LUO *et al.*, 2016).

Dessa forma, a otimização dos sistemas de crescimento de algas e a maximização da produção de triglicerídeos, fazem parte dos esforços necessários para tornar a produção do biocombustível a partir microalgas, mais sustentável. A dupla utilização do cultivo de microalgas, tanto para tratamento de águas residuais e para geração de biocombustível, é por conseguinte, uma opção atraente em termos de redução do custo de produção.

Neste sentido, na presente pesquisa foi cultivado a espécie *Desmodesmus subspicatus* em efluente doméstico bruto e tratado final, sob diferentes metabolismos energéticos, de modo a determinar as formas para otimizar as taxas de crescimento, as concentrações de células em cultura, e assim, identificar condições de cultivo que promovessem uma melhor produção de lipídeos intracelular, paralelamente ao tratamento do efluente utilizado como meio de cultivo.

O trabalho foi executado em escala de laboratório, com uso de efluentes domésticos contendo diferentes proporções nutricionais, e submetendo-se a espécie aos metabolismos autotrófico, heterotrófico e mixotrófico, de modo a avaliar a melhor condição em termos de taxas de crescimento, paralela à remoção de nutrientes dissolvidos e à estocagem lipídica da espécie

MATERIAIS E MÉTODOS

Isolamento e produção do inóculo

A espécie *Desmodesmus subspicatus*, foi obtida do banco de cepas do Laboratório de Produção de Alimento Vivo (LAPAVI – UFRPE). As cepas foram mantidas isoladas em pequenos volumes (5 mL), em tubos de ensaio, à temperatura de 20 °C, e iluminação suprida por lâmpadas *led* (2000 *lux*), supridos por incubadora (Caltec mod. EI-08F1-AF). Para produção do inóculo, foi utilizado meio de cultivo Provazolzer preparado em laboratório. O crescimento das cepas foi acompanhado por meio de contagem em microscópio óptico (Leica, DME 85-265), com auxílio de câmara de Neubauer (New Optics, Improved double/bright-line). Replicagens gradativas foram realizadas durante a fase exponencial de crescimento das cepas, até que se alcançasse 10% do volume total do experimento.

Delineamento do experimento

O cultivo de *D. subspicatus* foi realizado em regime contínuo, utilizando esgoto doméstico bruto como fonte de carbono e nutrientes, proveniente da ETE Rio Formoso, litoral sul de Pernambuco. A ETE é composta por um conjunto de reator UASB em série, uma lagoa de polimento e um conjunto de filtros percoladores de pedra. O cultivo foi realizado em aquários em vidro transparente com volume útil de 20 L, sendo utilizados 5 L para o experimento. Para favorecer a mistura, foi injetado ar atmosférico filtrado a uma vazão de aproximadamente 300 L.h⁻¹, sob temperatura controlada de 20 ± 1 °C.

Para avaliar o efeito do fotoperíodo sob a dinâmica de crescimento, utilização de nutrientes e estocagem lipídica, os cultivos foram expostos a metabolismo autotrófico (At) (iluminação contínua), mixotrófico (Mt), sendo 12h de fase clara e 12h de fase escura e heterotrófico (Ht), sendo este em total ausência de luz, por um período de 30 dias. A incidência de luz nos cultivos autotrófico e mixotrófico, foi provida por luz fluorescente artificial a uma intensidade luminosa de 3000 ± 100 *lux*. Um aparelho *timer*, foi utilizado para promover a fase escura do metabolismo mixotrófico, e uma manta negra em PVC, foi usada para isolar a entrada de luz para o experimento heterotrófico.

Parâmetros de crescimento e remoção de nutrientes

O crescimento celular foi monitorado através do desenvolvimento de curvas de crescimento, nas quais foi avaliada a densidade celular máxima no cultivo (DCM), obtido por meio de contagens diárias em câmaras de Neubauer. Ao longo do monitoramento, avaliou-se também aspectos como a produtividade (P, mg.L⁻¹.dia⁻¹), a taxa de crescimento (r , dia⁻¹) e o tempo de duplicação celular (k , dia⁻¹) (LOURENÇO, 2006). O peso da biomassa seca também foi medido ao longo do experimento, a fim de se avaliar o rendimento total em função do tempo. O consumo de nutrientes foi avaliado diariamente, a partir da concentração de DBO, N-NH₄⁺ P-PO₄³⁻, dissolvidos no meio de cultivo. Todas as análises físico-químicas e biológicas seguiram as recomendações preconizadas em *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (APHA/AWWA/WEF, 1995).

Extração e quantificação de lipídeos

A recuperação lipídica foi obtida por meio da mistura de solventes, clorofórmio e metanol 2:1, assistido por equipamento *Sohxlet* (Quimis, mod 0388-268). O período de cada extração foi de 4 h, tempo hábil para se completar 8 ciclos de lavagem no *Sohxlet*. Um retroevaporador em dois módulos (IKA mod. HB 10/IKA mod. RV 10 basic), foi usado para remover os solventes da amostra, que se manteve em banho maria a uma temperatura de 65 °C por um período de 1 h. Após remoção do solvente, a quantificação total de óleo recuperado foi obtida gravimetricamente com uso de balança analítica (OHAUS mod. AR2140). A técnica utilizada foi adaptada do método de Blight & Dyer (1959) para detecção de óleos vegetais.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Características dos efluentes utilizados como meio de cultivo

A concentração de nutrientes do esgoto doméstico utilizado como meio de cultivo para *D. subspicatus*, encontram-se dispostos na Tabela 1 abaixo.

Tabela 1: Nutrientes e matéria orgânica nos efluentes utilizado no cultivo de *D. subspicatus*.

Efluente	NTK (mg.L ⁻¹)	N-NH ₄ ⁺ (mg.L ⁻¹)	P-PO ₄ ³⁻ (mg.L ⁻¹)	DBO (mgO ₂ .L ⁻¹)	Relação C:N:P
Bruto	44,35	31,45	3	165	55:10:1
Final	22	18	2	80	40:11:1

A coleta do efluente utilizado como meio de cultivo neste trabalho, foi realizada durante a estação seca da região (dezembro de 2016), e portanto, apresentaram características típicas deste período sazonal, estando dessa forma, mais concentrado, de acordo com resultados obtidos por estudos prévios realizados no mesmo sistema (PAIVA, 2012; BARBOSA, 2013). Vale ressaltar, que nos efluentes, não foram detectadas células microalgais em quantidades capazes de interferir neste estudo.

Crescimento celular e consumo de nutrientes

As curvas de crescimento foram avaliadas por meio de aspectos qualiquantitativos das células em suspensão. Para elaboração da curva de crescimento, foram levados em consideração, aspectos que distinguem as células metabolicamente ativas ou seja, a turgescência, a cor característica e a forma típica da espécie.

Na Figura 1, tem-se o comportamento das curvas de crescimento de *D.subspicatus* nos metabolismos fototrófico, heterotrófico e mixotrófico, nos efluentes utilizados como meio de cultivo.

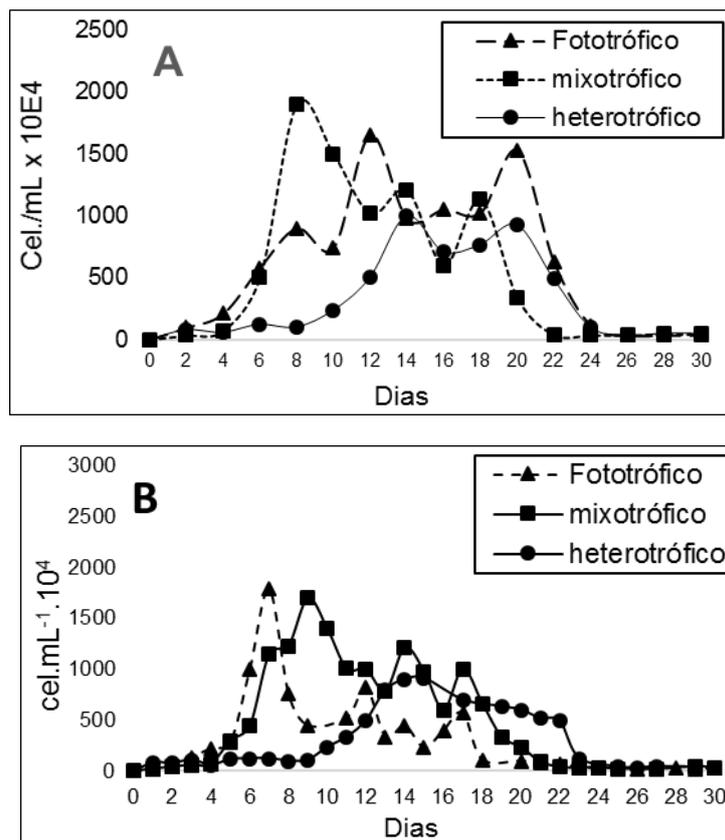


Figura 1: Comportamento das curvas de crescimento de *D. subspicatus*, no esgoto bruto (A) e efluente final (B) para os cultivos mantidos em condições de iluminação fototrófica, mixotrófica e heterotrófica ao longo do período de monitoramento.

Os cultivos sob metabolismo fototrófico, foram os únicos que obtiveram marcadamente, 3 picos de crescimento ao longo dos 30 dias de monitoramento, em ambos os efluentes utilizados. No entanto, o número de células em suspensão nem sempre superou os cultivos mixotrófico e heterotrófico ao longo do monitoramento. Em alguns momentos, o número de células mostrou-se muito aquém ao obtido no cultivo mixotrófico, que recebeu luz por um período de tempo 50% inferior (12 h).

Esse comportamento pode ser explicado pela condição a qual as microalgas do cultivo autotrófico foram sujeitas, favorecendo um intenso metabolismo pela iluminação. Chisti, (2007), explica que a luz também pode atuar como um fator inibitório à multiplicação celular, ao passo que pode levar a uma condição de estresse. Dessa forma, atribui-se este aspecto ao fato de as microalgas deste cultivo terem mostrado um crescimento aquém aos dos cultivos realizados mixotroficamente, com 12 h de luz diária. Os cultivos mixotrófico e heterotrófico, de ambos os efluentes, apresentaram dois picos de crescimento, sendo o heterotrófico menor e mais tardio que os demais cultivos. A Densidade Celular Máxima (DCM) observada nos cultivos em esgoto bruto foram de (10^4 cel.mL^{-1}) 1655, 1988 e 998 e no efluente final de 1788, 1698, e 799 nos cultivos fototrófico, mixotrófico e heterotrófico, respectivamente. Os picos de crescimento dos cultivos foram acompanhados pelo decréscimo de nutrientes (N-amoniaco dissolvido e fósforo dissolvidos). A Figura 2 abaixo revela o comportamento do N-NH_4^+ e P-PO_4^{3-} , dissolvidos nos cultivos fototrófico, mixotrófico e heterotrófico, cultivados em efluente bruto.

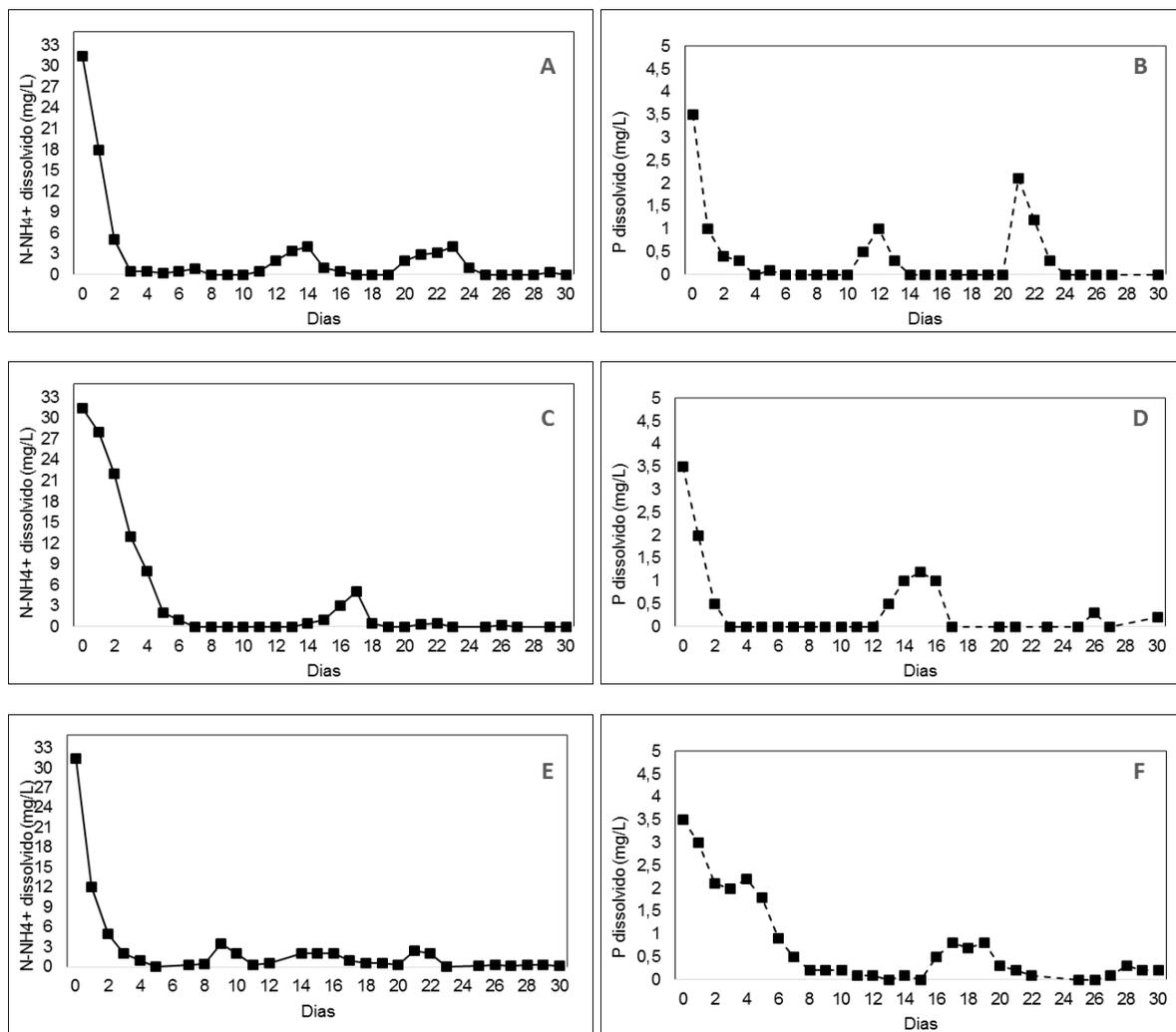


Figura 2: Consumo de N-NH_4^+ e P-PO_4^{3-} , no esgoto bruto para os cultivos mantidos em condições de iluminação autotrófica (A e B), mixotrófica (C e D) e heterotrófica (E e F), ao longo do período de monitoramento.

Com efluente bruto, os nutrientes foram completamente consumidos do meio antes do quinto dia de cultivo, exceto para o das microalgas sob metabolismo heterotrófico, que levou 8 dias para consumir todo o N-NH_4^+ e P-PO_4^{3-} , do meio. Os picos de nutrientes observados no meio, pode ser explicado pela morte da biomassa em cultivo e a consequente mineralização de sua matéria orgânica pelas bactérias presentes no esgoto doméstico, e assim, fornecendo uma reposição nutricional ao meio, e por esta razão o crescimento microalgal foi favorecido. Fato semelhante foi avaliado Li, *et al.*, (2016), ao cultivar microalgas para tratamento de efluentes.

A Figura 3 abaixo mostra o comportamento do N-NH_4^+ e P-PO_4^{3-} dissolvidos nos cultivos fototrófico, mixotrófico e heterotrófico com efluente final.

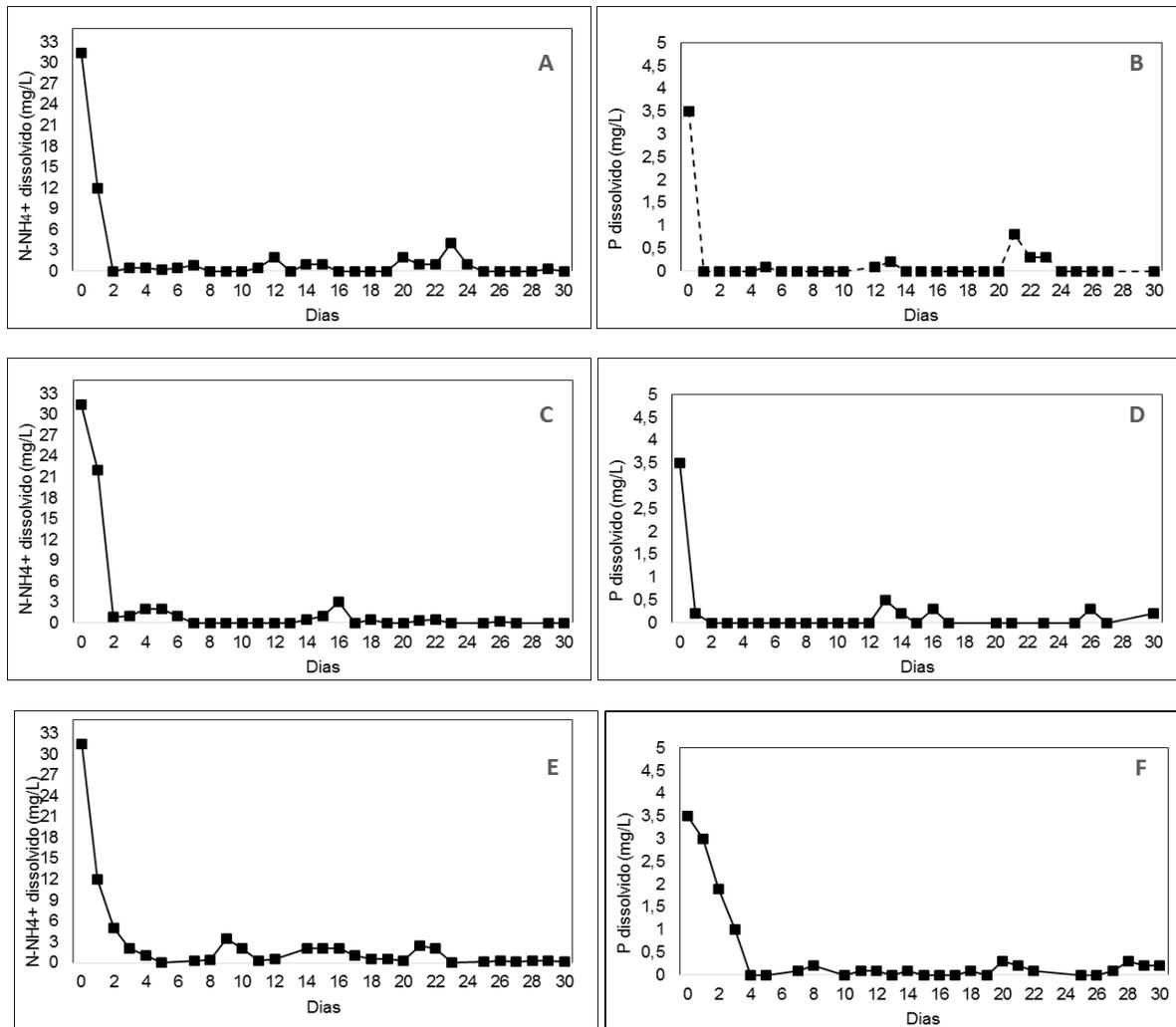


Figura 3: Consumo de N-NH_4^+ e P-PO_4^{3-} , no efluente final para os cultivos mantidos em condições de iluminação autotrófica (A e B), mixotrófica (C e D) e heterotrófica (E e F), ao longo do período de monitoramento.

Com final, os nutrientes foram completamente consumidos do meio no segundo dia de cultivo, exceto para o cultivo sob metabolismo heterotrófico, que levou de 4 a 5 dias para consumir todo o N-NH_4^+ e P-PO_4^{3-} do meio. Assim como com efluente bruto, foram observados alguns picos de concentração de amônia e fósforo dissolvidos no meio, igualmente marcados pelos picos de densidade celular observado nas curvas de crescimento, porém, de forma menos expressiva. Assim como no caso com efluente bruto, esse fato é também explicado pela morte e mineralização celular, que nesse caso, ocorre em menor proporção por estarem presentes em menor quantidade.

A Figura 4 revela o comportamento das concentrações de DBO no meio ao longo do período monitorado.

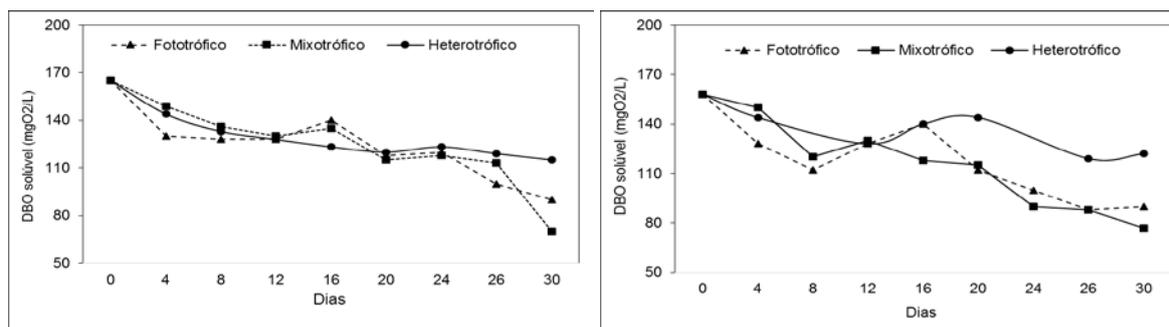


Figura 4: Decaimento da DBO solúvel nos efluentes nos cultivos de *D.subspicatus* em efluente bruto (A), e no efluente final (B) sob metabolismos fototrófico, heterotrófico e mixotrófico

A eficiência de remoção de DBO solúvel foi notória em ambos os efluentes nas 3 condições metabólicas estudadas. As eficiências com o efluente bruto foram 45, 58 e 30% nos metabolismos fototrófico, mixotrófico e heterotrófico e tratado final de 43, 51 e 23% nos metabolismos fototrófico, mixotrófico e heterotrófico respectivamente. A eficiência sob metabolismo fototrófico e mixotrófico esteve aquém do esperado para estas condições. Bahadar *et al.*, (2013), comentam que nessas condições é possível remover em torno de 90% da DBO solúvel no meio nos primeiros dias de cultivo. Por outro lado, o cultivo na ausência de luz, superou a eficiência em termos de remoção de DBO.

O mesmo autor comenta que na condição heterotrófica, o consumo da DBO só vai ser satisfatório se esta for composto de moléculas de fácil assimilação, como a glicose, o glicerol e o amido, por exemplo, o que não é caso do efluente em estudo, que tem sua DBO composta por carbonatos, bicarbonatos, ureia etc. Assim sendo, este consumo em meio com ausência de luz, foi apenas devido às bactérias presentes no esgoto doméstico. Vale ressaltar que o tipo de matéria carbonácea dissolvida e a sua biodisponibilidade também regerá o rendimento lipídico do cultivo (da MATA, 2010).

Aspectos de crescimento celular

Na Tabela 2 tem-se o resumo dos melhores índices de crescimento celular observados ao longo do experimento no efluente bruto e final.

Tabela 2: Produtividade, taxa de crescimento e tempo de duplicação de *D.subspicatus* cultivada em efluente bruto e final sob metabolismo mixotrófico.

Efluente	Índices de crescimento		Período (dias)			
			0 a 7°	7° a 14°	14° a 21°	21° a 28°
Bruto	P	(mg.L ⁻¹ .d ⁻¹)	0,347	0,339	0,287	0,124
	r	(dia ⁻¹)	0,277	0,269	0,202	0,118
	k	(dia ⁻¹)	0,138	0,167	0,181	0,298
Tratado final	P	(mg.L ⁻¹ .d ⁻¹)	0,333	0,302	0,265	0,206
	r	(dia ⁻¹)	0,268	0,205	0,188	0,173
	k	(dia ⁻¹)	0,144	0,181	0,191	0,298

Dos resultados obtidos, com relação aos aspectos de crescimento, se destacaram os cultivos submetidos aos metabolismos mixotrófico em efluente bruto e no efluente final. Os resultados de produtividade e de taxa de crescimento foram maiores, sendo os valores mais elevados nos 7 primeiros dias de crescimento, o que revela sua fase de crescimento exponencial. Os menores tempos de duplicação foram também observadas durante esse período, evidenciando um metabolismo mais acelerado durante esta fase.

Estocagem lipídica

A Figura 5, apresenta o rendimento de biomassa comparado ao rendimento lipídico para a espécie *D. subspicatus* cultivada em efluente bruto e final sob metabolismo fototrófico, mixotrófico e heterotrófico.

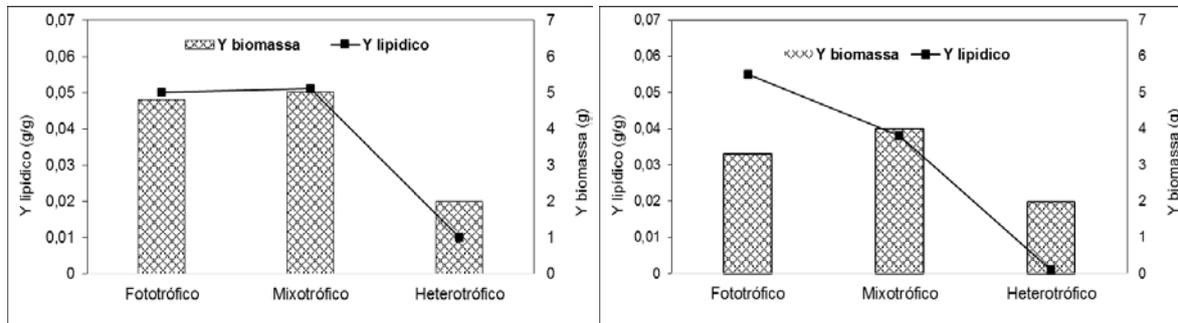


Figura 5: Rendimento de biomassa comparado ao rendimento lipídico de *D. subspicatus* cultivado em efluente bruto (A), e efluente final (B) sob metabolismos fototrófico, heterotrófico e mixotrófico.

Ao avaliar o conteúdo lipídico total associado ao rendimento de biomassa, embora a densidade do cultivo mixotrófico tenha sido superior em ambos os casos, nota-se que a biomassa proveniente do cultivo fototrófico teve um rendimento lipídico levemente maior, especialmente quando a espécie foi cultivada com o efluente final. Essa disparidade em termos de acúmulo lipídico, pode ser associada ao estresse sofrido pela luminosidade, e ao mesmo tempo pela escassez nutricional sofrida pela biomassa durante um período de tempo maior, visto que o consumo dos nutrientes disponíveis, foi realizado nos dois primeiros dias.

Bahadar & Kahan (2013) enfatizam que determinadas condições de estresse podem inibir o crescimento celular, mas em contrapartida, favorecem a estocagem lipídica, por meio da “memória metabólica” microalgal. Na condição de escassez, a espécie reduz o crescimento celular, como forma de reduzir o gasto energético e a necessidade nutricional, ao passo que estoca substâncias de reserva que sejam úteis à sua sobrevivência em condições prolongadas de carência nutricional.

Os autores sugerem que, para que o cultivo heterotrófico seja eficiente em termos de ganho de biomassa e ganho lipídico, é necessário que seja adicionado uma fonte de carbono mais biodisponível, ou mesmo, que seja utilizado um meio de cultivo contendo tais substâncias, como a glicose, glicerol entre outros.

A fonte de carbono normalmente encontrada em esgotos domésticos são os carbonatos e uma pequena parcela de glicose (MATA *et al.*, 2010). Ainda assim, foi possível obter uma biomassa significativa a partir do cultivo heterotrófico, embora com um baixo teor lipídico total.

CONCLUSÕES

A produção de lipídeos se destacou quando a espécie foi cultivada no efluente tratado final, na condição fototrófica (0,058 g/g).

A remoção de nutrientes do efluente bruto e do final tratado, foi satisfatória quando a espécie foi cultivada nas três condições, no entanto, foi mais rápida, quando cultivada nas condições fototrófica (2 a 3 dias) e mixotrófica. (2 a 4 dias).

Assim sendo, o uso da espécie *D. subspicatus* em efluente doméstico, visando o tratamento do efluente, paralelo à produção de energia, poderia ser favorecida no cultivo fototrófico, especialmente quando esta for cultivada em condições de baixo C:N:P (esgoto final tratado, por exemplo).

Para o tratamento de efluentes, um uso mais econômico e efetivo desta espécie, seria na condição mixotrófica, podendo ser usada para esgoto bruto e/ou efluentes finais de estações de tratamento de esgoto doméstico.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco (FACEPE) pelo apoio financeiro para realização das pesquisas neste tema aos pesquisadores do LSA-UFPE (projeto PRONEX/NUTREL); à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsas. À Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), pelo apoio ao projeto Rede Nacional de Tratamento de Esgotos Descentralizados (RENTED). À Companhia de Saneamento de Pernambuco (COMPESA) e BRK Ambiental pelo suporte aos trabalhos experimentais e coleta de amostras nas estações de tratamento de esgotos de Rio Formoso e Mangueira Recife. À Fibra Revestimentos, pela cessão e suporte na operação de reatores piloto e filtros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA, AWWA, WPCF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22th ed. Washington DC, USA, 2012.
1. BAHADAR, A., & BILAL KHAN, M. (2013). Progress in energy from microalgae: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 27:128–148. 2013.
2. BARBOSA, S.M.S. (2013). Estudo da remoção de nitrogênio em uma lagoa de polimento tratando esgoto doméstico em escala real. 126 f. Dissertação (mestrado em Engenharia Civil). Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 2013.
3. BRENNAN, L. OWENDE, P. Biofuels from microalgae - A review of technologies for production, processing, and extractions of biofuels and co-products. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 14 (2), 557–577. 2010.
4. CHISTI, Y. Biodiesel from microalgae. *Biotechnology Advances*. 25 (3), 294–306. 2007.
5. DEMIRBAS, A. Biodiesel from oilgae, biofixation of carbon dioxide by microalgae: A solution to pollution problems. *Applied Energy*. 88 (10), 3541–3547. 2011.
6. LI, Y.; CHEN, Y.-F.; CHEN, P.; MIN, M.; ZHOU, W.; MARTINEZ, B.; ZHU, J.; RUAN, R. Characterization of a microalga *Chlorella sp.* well adapted to highly concentrated municipal wastewater for nutrient removal and biodiesel production. *Bioresource Technology*. 102(8), 5138–44. 2011.
7. MATA, T. M.; MARTINS, A. A.; CAETANO, N. S. Microalgae for biodiesel production and other applications: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 14 (1), 217–232. 2010.
8. PAIVA, M.V.C. Dinâmica da comunidade fitoplancônica em um sistema de tratamento de esgotos no litoral de Pernambuco. 2012. 158 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2012.
9. YUNLONG LUO; PIERRE LE-CLECH; RITA K HENDERSON. Simultaneous microalgae cultivation and wastewater treatment in submerged membrane photobioreactors. *j.algal*. 2016.