

Estudo da cinética de crescimento de microalgas cultivadas em águas salobras/residuárias, para fins bioenergéticos

A produção de biomassa de microalgas como matéria-prima para a produção de biodiesel vem mostrando grande potencial. O estresse celular, pode ocorrer em função do meio em que a espécie em estudo vem sendo cultivada, podendo este ser águas salobras ou residuárias. O presente trabalho estudou a cinética de crescimento e a viabilidade de produção de biodiesel de duas espécies de microalgas. Como meio de cultivo foram utilizados meios salobros sintéticos e a mistura água de poço de caráter salobro e efluentes de fossas sépticas como fonte exclusiva de nutrientes. As espécies estudadas foram *Chlorella* sp. e *Scenedesmus acuminatus*. Quanto à cinética de crescimento, os melhores resultados nos meios sintéticos foram obtidos nos meios com menor salinidade (2,0 g.L⁻¹ de NaCl) para a *Scenedesmus acuminatus*. Já na *Chlorella* sp., os melhores resultados ocorreram no de concentração 4,0 g/L de NaCl. Nos cultivos a partir da mistura água residuária e de poço salobra, a *Scenedesmus acuminatus* teve seu crescimento favorecido nos meios a baixas concentrações de nutrientes e a *Chlorella* sp. em altas concentrações. Quanto ao potencial de produção de biodiesel a *Scenedesmus acuminatus* se mostrou mais viável, já que a porcentagem lipídica variou entre 23% e 28% nos cultivos salobros sintéticos e 31% e 62% nos cultivos que utilizaram águas residuárias como fonte de nutrientes. Além do estudo cinético e viabilidade de produção de biocombustíveis também foi possível observar a taxa de remoção de nutrientes, na mistura água de poço e efluente de fossas sépticas, onde foi observada uma diminuição significativa dos níveis de amônia nos meios.

Palavras-chave: Biocombustíveis; Biomassa; Águas residuárias; Microalgas.

Study of growth kinetics of microalgae cultivated in brackish/waste water for bioenergetic purposes

The production of microalgae biomass as a raw material for the production of biodiesel has shown great potential. Cellular stress can occur as a result of the environment in which the species under study has been cultivated, which may be brackish water or wastewater. The present work studied the growth kinetics and the feasibility of producing biodiesel from two species of microalgae. Synthetic brackish media and a mixture of brackish water from wells and effluents from septic tanks as an exclusive source of nutrients were used as a culture medium. The species studied were *Chlorella* sp. and *Scenedesmus acuminatus*. As for growth kinetics, the best results in synthetic media were obtained in media with lower salinity (2.0 g.L⁻¹ of NaCl) for *Scenedesmus acuminatus*. In *Chlorella* sp., the best results occurred in the 4.0 g.L⁻¹ NaCl concentration. In cultures from a mixture of wastewater and brackish well, *Scenedesmus acuminatus* had its growth favored in media with low concentrations of nutrients and *Chlorella* sp. in high concentrations. As for the potential of biodiesel production, *Scenedesmus acuminatus* proved to be more viable, since the lipid percentage varied between 23% and 28% in synthetic brackish crops and 31% and 62% in crops that used wastewater as a source of nutrients. In addition to the kinetic study and feasibility of biofuel production, it was also possible to observe the nutrient removal rate in the mixture of well water and septic tank effluent, where a significant decrease in ammonia levels in the media was observed.

Keywords: Biofuels; Biomass; Septic Tanks; Microalgae.

Topic: Engenharia Ambiental


Received: 04/02/2022

Approved: 23/02/2022

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Bruna da Silveira Guimarães 

Universidade Federal de Campina Grande, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/8917611742350918>
<http://orcid.org/0000-0001-9890-6158>
brunasilveiraguimaraes@hotmail.com

Ana Karolina Cabral de Sousa Araújo 

Universidade Federal de Campina Grande, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/9590349178227996>
<http://orcid.org/0000-0003-3958-9759>
ana.karolina@eq.ufcg.edu.br

Kepler Borges França 

Universidade Federal de Campina Grande, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/3620576114544758>
<http://orcid.org/0000-0001-5456-2066>
kepler123@gmail.com

João Alexandre Rodrigues Nascimento 

Universidade Federal de Campina Grande, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/1817911481313833>
<http://orcid.org/0000-0001-6883-2135>
joao.alexandrern@gmail.com



DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2022.002.0012

Referencing this:

GUIMARÃES, B. S.; ARAÚJO, A. K. C. S.; FRANÇA, K. B.; NASCIMENTO, J. A. R.. Estudo da cinética de crescimento de microalgas cultivadas em águas salobras/residuárias, para fins bioenergéticos. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, v.13, n.2, p.134-141, 2022. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2022.002.0012>

INTRODUÇÃO

É de nosso conhecimento que os biocombustíveis são uma alternativa viável aos combustíveis dependentes do petróleo e podem ser produzidos a partir de matérias-primas como amido, óleo vegetal, gordura animal, resíduos de biomassa e biomassa de algas, que têm metade das propriedades atóxicas, é biodegradável e gera energia renovável. Estudos mostram que a utilização de biocombustíveis pode suprir parte da demanda energética do planeta.

Com base nas matérias-primas utilizadas para a produção, os biocombustíveis podem ser de primeira geração, ou seja, biocombustíveis produzidos a partir de culturas alimentares cultivadas em terras agrícolas, como açúcar, amido ou óleo vegetal. A segunda geração é produzida a partir de diferentes tipos de biomassa derivados de materiais vegetais e animais. Finalmente, os biocombustíveis de terceira geração são aqueles produzidos a partir da biomassa microalgal.

Os benefícios dos biocombustíveis de terceira geração são múltiplos, incluindo a redução da emissão de CO₂, hidrocarbonetos e partículas no meio ambiente, além da eliminação de compostos de enxofre (SO_x), reduzindo assim as emissões de gases de efeito estufa. Além disso, o que tem atraído grande atenção da pesquisa é a possibilidade de cultivar microalgas sem o uso de terras cultivadas, ou seja, além de tais microrganismos poderem ser produzidos em terras de baixa qualidade, também podem ser utilizados alimentos. Usado para cultivar outros tipos de produtos. Outro ponto que merece destaque é que os produtos produzidos pela produção de microalgas podem ser utilizados em diversos setores como alimentos e medicamentos, além da produção de biocombustíveis (POPP et al., 2014).

Atenção também deve ser dada aos tipos de meios aquáticos utilizados para o cultivo de microalgas e à possibilidade de produção de biomassa de microalgas em águas impróprias para consumo humano (como esgoto doméstico e água com alta salinidade) e de baixo custo. O Nordeste do Brasil, principalmente no semiárido, é caracterizado por alta luminosidade devido à forte radiação solar e altas temperaturas, fatores que favorecem naturalmente o cultivo e crescimento de microalgas nas águas superficiais.

O trabalho de Pancha et al. (2015) e Jiang et al. (2011) mostraram a possibilidade de produção de microalgas em meio salobro e salino, e foi confirmado que esses meios podem causar estresse celular, o que leva a um maior acúmulo de lipídios nas células, impulsionando a produção de biocombustíveis como o biodiesel. Além disso, é possível utilizar águas residuais como fonte de nutrientes, o que reduz bastante os custos de produção, fator que dificulta a produção de biomassa microalgal em grande escala para fins de bioenergia.

O presente trabalho teve como objetivo o estudo da cinética de crescimento de microalgas cultivadas em meio salobro. Em um primeiro momento foi utilizado meio salobro preparado em laboratório, com a adição de nutrientes para o crescimento microalgal. Em uma segunda etapa foi utilizada a mistura água de poço de caráter salobro e efluentes oriundos de fossas sépticas como fonte exclusiva de nutrientes. A partir dos experimentos realizados foi desenvolvido o estudo cinético e da produção lipídica das espécies, visando analisar o potencial de produção de biodiesel. A utilização de águas residuárias como fonte exclusiva de

nutrientes visa, principalmente, a redução dos custos de produção, haja vista ser um meio de fácil obtenção e rico em nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo, indispensáveis ao crescimento microalgal.

MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi dividido em duas etapas de cultivo fechado e em escala de bancada, sendo a primeira o cultivo de duas espécies em meio sintético com a adição do sal NaCl, nas concentrações de 2,0; 4,0 e 6,0 g.L⁻¹. Na segunda foi utilizado como meio de cultivo a mistura água de poço salobra e nutrientes oriundos de fossas sépticas nas proporções de 5%, 30%, 50% e 80% em volume de nutrientes provenientes do efluente. As espécies cultivadas foram a *Chlorella sp.* e *Scenedesmus acuminatus*, em ambiente controlado, com temperatura entre 22 e 25°C e fotoperíodo 12/12h (claro/escuro). Nas duas etapas o volume de cultivo foi de 2 litros.

Após os inóculos, nas duas etapas, foi realizado o monitoramento diário do pH, condutividade elétrica (K) do meio, como também o crescimento celular, através da contagem diária do número de células por mL em microscópio. Este último processo foi realizado até que o crescimento celular estacionasse. Nos inóculos onde foi utilizada água de poço e efluentes de fossas sépticas como fonte exclusiva de nutrientes, estes foram quantificados após a mistura, sendo analisados os teores de fosfato (PO₄³⁻), amônia (NH₃⁺), N-nitrato (N-NO₃⁻), N-nitrito (N-NO₂⁻).

Após atingida da fase estacionária de crescimento celular, foi realizada a separação da biomassa do meio de cultivo, por centrifugação, bem como e a quantificação do teor de lipídios e produção da biomassa seca. Depois a biomassa foi seca em estufa a 45°C e então realizada análise do teor de lipídeos, a partir da metodologia preconizada por Folch et al. (1957) modificada para microalgas, bem como a produção de biomassa seca por litro de cultivo. Após a separação, as análises de PO₄³⁻, NH₃, N-NO₃⁻ e N-NO₂⁻ foram repetidas no meio de cultivo, visando quantificar o percentual de remoção destes nutrientes.

A partir dos dados obtidos foram calculados os parâmetros cinéticos velocidade máxima de crescimento ($\mu_{m\acute{a}x}$), sendo este o coeficiente angular da reta que é obtida pela por regressão linear aplicada na fase log ou exponencial de crescimento, bem como o tempo de geração (t_g) dado pela Equação 1.

$$t_g = \ln 2 / \mu_{m\acute{a}x} \quad (1)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir das curvas de crescimento para a primeira etapa, foi possível observar que em todas as concentrações a espécie *Scenedesmus acuminatus* teve um comportamento semelhante ao Controle, atingindo concentrações celulares próximas. Já a *Chlorella sp.*, teve as curvas nas concentrações de 2,0 g/L e 6,0 g/L mais semelhantes ao Controle, porém na concentração 4,0 g/L, percebeu-se uma diferença. Este fato pode indicar que, para esta espécie, a salinidade do meio afeta de maneira direta no crescimento celular.

Na figura 2 é possível perceber que, nos cultivos realizados na segunda etapa, a espécie *Scenedesmus acuminatus* atingiu maiores concentrações celulares na proporção de 80%, e, também, a partir do quinto dia nas proporções de 5% e 30% o comportamento foi semelhante. Observa-se também que na proporção de

50% o comportamento diferiu das demais, porém foram obtidas concentrações celulares satisfatórias ao final do cultivo.

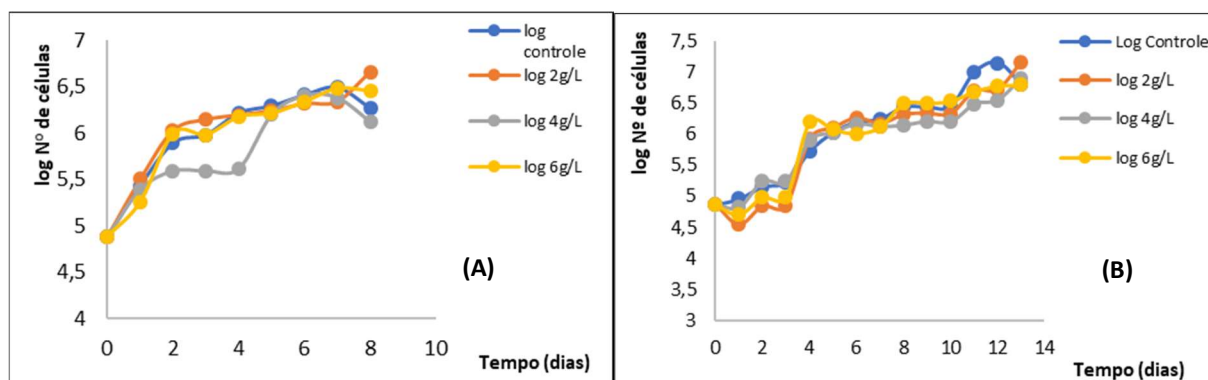


Figura 1: Curvas de crescimento das espécies estudadas na primeira etapa.

(A) *Chlorella sp.*, (B) *Scenedesmus acuminatus*.

As curvas da *Chlorella sp.* mostraram semelhança entre os meios com 5% e 30%, sendo percebido que as concentrações celulares ficaram muito próximas. As proporções 50% e 80% apresentaram comportamento diferente das primeiras, onde percebe-se que as concentrações celulares foram maiores, principalmente na proporção de 50%. Comparando-se o Controle com os demais meios de cultivo, os resultados indicam que a concentração de nutrientes oriunda de águas residuárias pode influenciar de maneira positiva no crescimento celular das espécies estudadas.

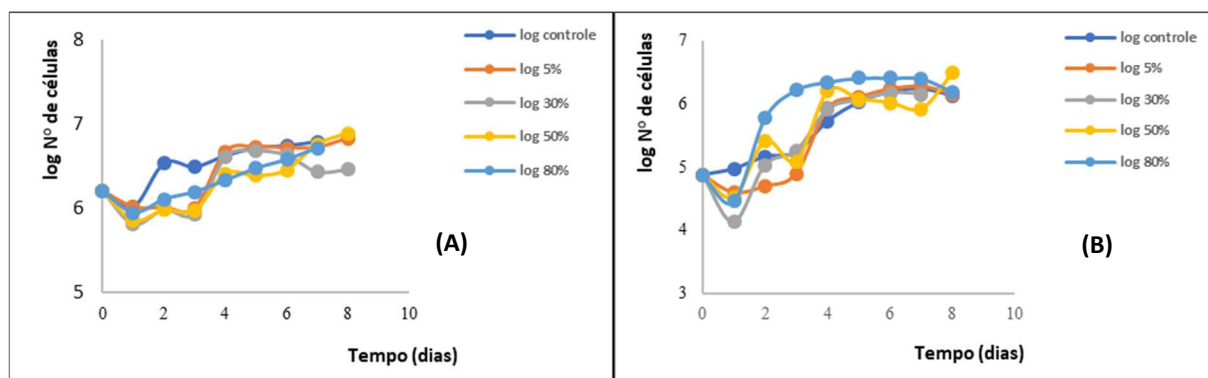


Figura 2: Curvas de crescimento das espécies estudadas na segunda etapa.

(A) *Chlorella sp.*, (B) *Scenedesmus acuminatus*.

Na Tabela 1 são mostrados os parâmetros cinéticos velocidade máxima de crescimento ($\mu_{\text{máx}}$) e tempo de geração (t_g) para as duas etapas, e também os seus respectivos coeficientes de correlação (R^2). Os resultados mostram que para a *Scenedesmus acuminatus* na primeira etapa, a maior velocidade máxima de crescimento e o menor tempo de geração ocorreram no Controle seguido do meio com menor salinidade, e na segunda etapa, os melhores resultados foram observados primeiramente na proporção de 80%. Tal fato indica que, a concentração de nutrientes deste meio influenciou de maneira a acelerar o crescimento celular.

Em contrapartida, a *Chlorella sp.* apresentou na primeira etapa o maior valor de $\mu_{\text{máx}}$ e menor de t_g , o meio de 4,0 g/L, e na segunda etapa na proporção de 30%. Com isso foi possível observar que a espécie *Scenedesmus acuminatus* apresenta melhor desempenho em baixas salinidades e alta concentração de nutrientes, e, a espécie *Chlorella sp.* em salinidades moderadas e concentração de nutrientes moderada.

Tabela 1: Parâmetros cinéticos das espécies estudadas nas duas etapas.

Primeira Etapa				Segunda Etapa			
<i>Scenedesmus acuminatus</i>				<i>Scenedesmus acuminatus</i>			
	$\mu_{\text{máx}}$ (dia ⁻¹)	R ²	t _g (dia)		$\mu_{\text{máx}}$ (dia ⁻¹)	R ²	t _g (dia)
Controle	0,43	0,9490	1,60	Controle	0,55	0,9537	1,26
2,0 g/L NaCl	0,35	0,7634	1,96	5%	0,97	0,7875	0,72
4,0 g/L NaCl	0,26	0,8049	2,66	30%	0,71	0,9158	0,97
6,0 g/L NaCl	0,21	0,7520	3,32	50%	0,41	0,4829	1,71
<i>Chlorella sp.</i>				<i>Chlorella sp.</i>			
	$\mu_{\text{máx}}$ (dia ⁻¹)	R ²	t _g (dia)		$\mu_{\text{máx}}$ (dia ⁻¹)	R ²	t _g (dia)
Controle	0,37	0,9103	1,87	Controle	0,24	0,7535	2,84
2,0 g/L NaCl	0,28	0,8170	2,48	5%	0,03	0,5049	21,33
4,0 g/L NaCl	0,58	0,7715	1,20	30%	0,50	0,6218	1,38
6,0 g/L NaCl	0,32	0,7831	2,14	50%	0,37	0,8957	1,86
				80%	0,29	0,9975	2,40

A partir dos resultados do monitoramento da condutividade elétrica (K) mostrados nas Figuras 3 e 4, foi possível observar que em todos os meios ambas a espécies se comportaram de forma similar e é possível dizer que as condutividades elétricas permaneceram sem alterações significativas, podendo-se afirmar que ficaram praticamente constantes ao longo do tempo de cultivo.

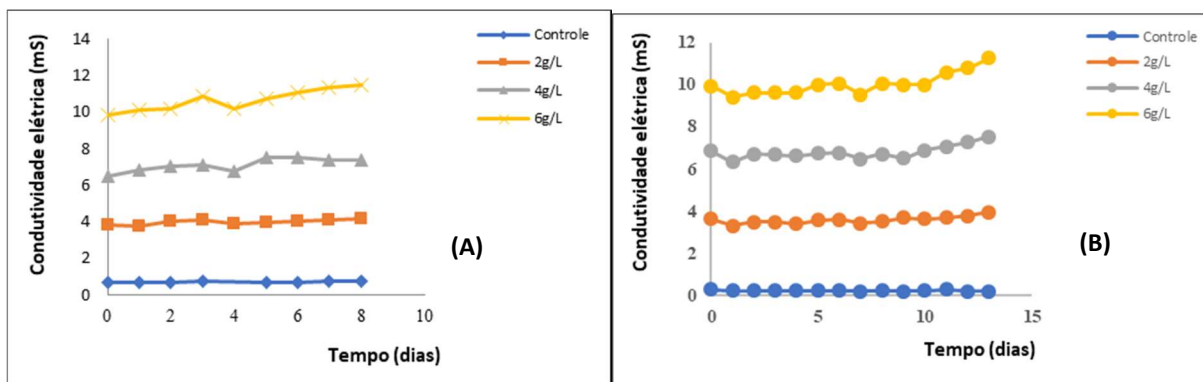


Figura 3: Condutividade elétrica ao longo dos cultivos da primeira etapa. (A) *Chlorella sp.*, (B) *Scenedesmus acuminatus*.

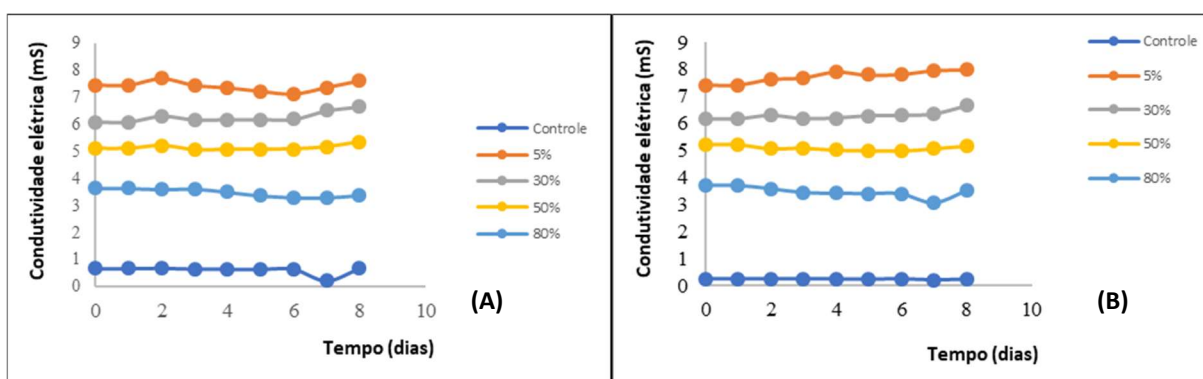


Figura 4: Condutividade elétrica ao longo dos cultivos da segunda etapa. (A) *Chlorella sp.*, (B) *Scenedesmus acuminatus*.

Analisando as Figuras 5 e 6, observa-se que o pH do meio tem a tendência de ficar alcalino, a medida em que há o aumento da concentração. No caso da *Chlorella sp.* o pH do meio nos primeiros dias de cultivo estava neutro e, à medida em que houve o aumento do número de células o meio passou para alcalino. O mesmo foi observado nos cultivos da segunda etapa podendo-se, portanto, concluir que produção de biomassa ao longo do tempo de cultivo deixa o pH do meio alcalino. Quanto a isso, alguns autores mostram

que o aumento do caráter básico do meio se deve ao processo fotossintético, por parte das microalgas, ocorrendo a diminuição da concentração do CO₂ aumentando, assim, o pH do meio durante o tempo de cultivo.

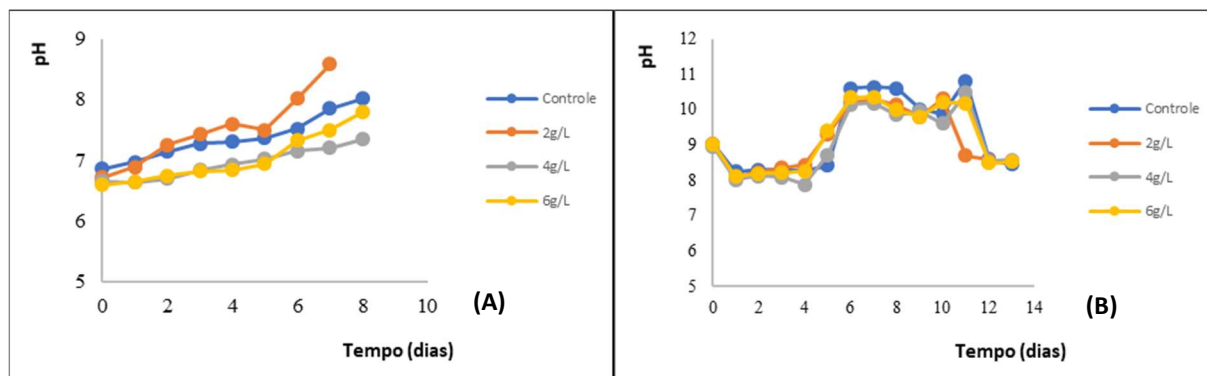


Figura 5: Monitoramento do pH na primeira etapa de cultivo. (A) *Chlorella sp.*, (B) *Scenedesmus acuminatus*.

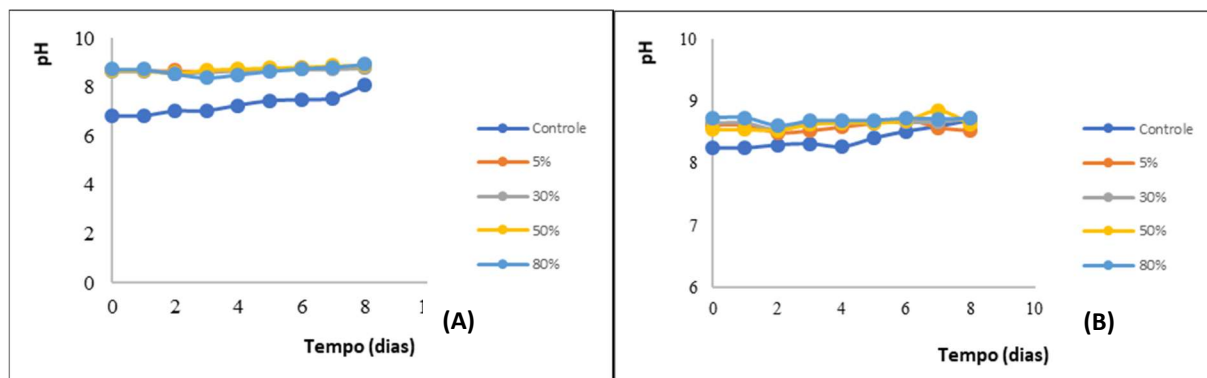


Figura 6: Monitoramento do pH na segunda etapa de cultivo. (A) *Chlorella sp.*, (B) *Scenedesmus acuminatus*.

As Tabelas 2 mostra as concentrações de iniciais e finais de N-nitrato, N-nitrito, amônia e fósforo total, assim como DQO (Demanda Química de Oxigênio) das proporções utilizadas nos cultivos das espécies *Scenedesmus acuminatus* e *Chlorella sp.* Foi possível perceber que houve a diminuição da concentração da amônia em todas as proporções após os cultivos, com percentuais de remoção maiores que 80%, assim como o aumento das concentrações de nitrato na espécie *Scenedesmus acuminatus* nas proporções de 50% e 80%, e nitrito, na proporção de 80%. Steen et al. (2017) justificam este fato pela ocorrência do processo de nitrificação, através da relação simbiótica entre as células microalgais, que absorvem uma parte da amônia, e o restante é transformado em nitrato e nitrito pela ação de bactérias nitrificantes.

Tabela 2: Análises de nutrientes antes e após os cultivos da segunda etapa.

<i>Scenedesmus acuminatus</i>					<i>Chlorella sp.</i>			
Após o cultivo					Após o cultivo			
	5%	30%	50%	80%	5%	30%	50%	80%
N-NO ₃ ⁻ (mg/L)	45,86	14,82	23,28	40,92	3,53	16,93	1,06	39,51
N-NO ₂ ⁻ (mg/L)	0,04	0,71	0,97	1,65	0,16	0,74	1,86	1,74
NH ₃ (mg/L)	336,97	206,23	171,21	270,04	175,88	102,72	264,59	214,01
PO ₄ ³⁻ (mg/L)	1,05	1,51	1,91	1,91	1,31	2,15	1,94	1,34
DQO	85,47	153,85	153,85	256,41	213,68	341,88	153,85	256,41
Após o cultivo					Após o cultivo			
	5%	30%	50%	80%	5%	30%	50%	80%
N-NO ₃ ⁻ (mg/L)	0,22	0,3	250,48	57,86	0,35	0,4	0,52	4,18

N-NO ₂ ⁻ (mg/L)	0,19	0,04	0,06	0,07	0,01	0,06	0,05	0,14
NH ₃ (mg/L)	9,34	7	28,02	115,95	3,5	20,23	23,35	15,56
PO ₄ ³⁻ (mg/L)	0,37	0,26	0,38	0,41	0,12	0,16	0,48	0,39
DQO	256,41	188,03	363,25	529,91	367,52	170,94	162,39	205,13
% de Remoção					% de Remoção			
	5%	30%	50%	80%	5%	30%	50%	80%
N-NO ₃ ⁻ (mg/L)	99,52	97,95	-	-	90	97,67	50,67	89,43
N-NO ₂ ⁻ (mg/L)	-	94,33	93,36	95,57	91,64	92,16	97,35	91,66
NH ₃ (mg/L)	97,23	96,6	83,64	57,06	98,01	80,3	91,18	92,73
PO ₄ ³⁻ (mg/L)	64,52	82,58	80	78,67	90,97	92,52	75,11	70,89

A partir dos resultados mostrados na Tabela 3, é possível observar que nas duas etapas do trabalho, as duas espécies tiveram a produção de biomassa seca muito similar. Entre os cultivos realizados na primeira etapa, os valores do teor de lipídeos obtidos para a *Scenedesmus acuminatus* ficaram entre 23% e 28%, enquanto que na segunda etapa os níveis lipídicos ficaram entre 31% e 62%. Para a *Chlorella sp.*, na primeira etapa a acumulação lipídica ficou entre 19% e 20%, enquanto que na segunda os níveis permaneceram praticamente os mesmos. Estes resultados identificam que, a influência da concentração de nutrientes oriundos de fossas sépticas, se comparado à da salinidade do meio, foi mais significativa na primeira espécie do que na segunda. Desse modo, a *Scenedesmus acuminatus* se mostra mais viável para se produzir em larga escala.

Tais resultados mostraram a possibilidade de produção de biomassa de microalgas em maiores escalas, sendo observada a viabilidade de se estudar a produção de biodiesel a partir da biomassa de microalgas pode ser tornar uma alternativa para a demanda energética. É importante observar que as condições do meio, tais como salinidade e concentração de nutrientes, a depender da espécie, podem ter influência positiva ou negativa tanto na produção lipídica quanto na produção de biomassa seca.

Tabela 3: Resultados da produção de biomassa seca, teor de lipídios e parâmetros cinéticos das espécies estudadas.

Primeira etapa		
<i>Scenedesmus acuminatus</i>		
	% Lipídeos	Produção de Biomassa seca (mg/L)
2,0 g/L NaCl	28,18	37,20
4,0 g/L NaCl	23,08	36,89
6,0 g/L NaCl	25,32	39,69
<i>Chlorella sp.</i>		
	% Lipídeos	Produção de Biomassa seca (mg/L)
2,0 g/L NaCl	20,03	38,93
4,0 g/L NaCl	19,27	31,33
6,0 g/L NaCl	19,41	43,52
Segunda etapa		
<i>Scenedesmus acuminatus</i>		
	% Lipídeos	Produção de Biomassa seca (mg/L)
5%	54,53	34,94
30%	31,92	38,54
50%	62,2	39,75
80%	36,32	38,69
<i>Chlorella sp.</i>		
	% Lipídeos	Produção de Biomassa seca (mg/L)
5%	25,17	38,80
30%	24,61	31,24
50%	14,91	41,05
80%	13,73	35,08

CONCLUSÕES

O estudo encontrou relação entre a salinidade do meio e concentração de nutrientes oriundos do reuso de águas oriundas de fossas sépticas, na cinética de crescimento, acumulação lipídica e produção de biomassa. Desse modo, observou-se a possibilidade de se utilizar tais efluentes como fonte exclusiva de nutrientes para a produção de biomassa de microalgas. Os meios nos quais houve maior influência da salinidade, a partir dos meios sintéticos produzidos pela adição de NaCl, a *Scenedesmus acuminatus* teve os melhores resultados cinéticos no meio com menor salinidade, enquanto que a *Chlorella sp.* no de concentração 4,0 g/L de NaCl. Portanto, esta última espécie se mostra mais tolerante à meios com salinidade mais altas, na sua cinética de crescimento.

Nos cultivos realizados a partir do reuso de águas residuárias domésticas a *Scenedesmus acuminatus* teve a cinética de crescimento favorecida no meio com maiores concentrações de nutrientes e a *Chlorella sp.* na proporção de 30%. Quanto à acumulação lipídica, nesta etapa, foram obtidas expressivas porcentagens, principalmente nos meios com maiores concentrações de nutrientes, principalmente para a *Scenedesmus acuminatus*. Houve diminuição expressiva dos níveis de amônia, assim como o fósforo. Desse modo, ficou comprovado que a utilização de efluentes domésticos como meio de cultivo também pode ocasionar a diminuição da carga poluidoras destes, trazendo benefícios ambientais, além da produção da biomassa de microalgas. Ao final dos cultivos, verificou-se o potencial da utilização da biomassa de microalgas como matéria prima para a produção de biodiesel, mostrando-se como uma alternativa de menor custo e alta eficiência.

REFERÊNCIAS

FOLCH, J.; LESS, M.; STALEY, G. H.. A Simple Method for the Isolation and Purification of Total Lipids from Animal Tissues. **The Journal of Biological Chemistry**, v.226, p.497-509, 1957.

JIANG, L.; LUO, S.; FAN, X.; YANG, Z.; GUO, R.. Biomass and lipid production of marine microalgae using municipal wastewater and high concentration of CO₂. **Applied Energy**, v.88, n.10, p.3336–3341, 2011.

PANCHA, I.; CHOKSHI, K.; MAURYA, R.; TRIVEDI, K.; PATIDAR, S. K.; GHOSH, A.; MISHRA, S.. Salinity induced oxidative stress enhanced biofuel production potential of microalgae

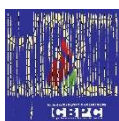
Scenedesmus sp. CCNM 1077. **Bioresource Technology**, v.189, p.341–348, 2015.

POPP, J.; LAKNER, Z.; HARANGI-RÁKOS, M.; FÁRI, F.. The effect of bioenergy expansion: Food, energy and environment. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.32, p.559–578, 2014.

STEEN, N. P. V. D.; LENS, P. N. L.. Bioresource Technology Nitrification by microalgal-bacterial consortia for ammonium removal in flat panel sequencing batch photo-bioreactors. **Bioresource Technology**, v.245, p.81-89, 2017.

Os autores detêm os direitos autorais de sua obra publicada. A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detêm os direitos materiais dos trabalhos publicados (obras, artigos etc.). Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas ou digitais sob coordenação da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.

Todas as obras (artigos) publicadas serão tokenizadas, ou seja, terão um NFT equivalente armazenado e comercializado livremente na rede OpenSea (https://opensea.io/HUB_CBPC), onde a CBPC irá operacionalizar a transferência dos direitos materiais das publicações para os próprios autores ou quaisquer interessados em adquiri-los e fazer o uso que lhe for de interesse.



Os direitos comerciais deste artigo podem ser adquiridos pelos autores ou quaisquer interessados através da aquisição, para posterior comercialização ou guarda, do NFT (Non-Fungible Token) equivalente através do seguinte link na OpenSea (Ethereum).

The commercial rights of this article can be acquired by the authors or any interested parties through the acquisition, for later commercialization or storage, of the equivalent NFT (Non-Fungible Token) through the following link on OpenSea (Ethereum).



<https://opensea.io/assets/ethereum/0x495f947276749ce646f68ac8c248420045cb7b5e/44951876800440915849902480545070078646674086961356520679561157622983894761473>