

AVALIAÇÃO DA DINÂMICA DE NITROGÊNIO E FÓSFORO NA PRODUÇÃO DE MICROALGAS EM MEIO DE CULTIVO COMPOSTO POR ESGOTO DOMÉSTICO E LIXIVIADO DE ATERRO SANITÁRIO

Juliana Maria Barbosa Coelho¹ (IC), Eduardo de Aguiar do Couto (PQ)¹
Universidade Federal de Itajubá - campus Itabira

Palavras-chave: Biomassa. Biorremediação. Lixiviado de aterro. Microalgas. Recuperação de nutrientes

Introdução

Nos últimos anos, devido ao aumento populacional e aos avanços tecnológicos, a geração de resíduos cresceu significativamente, com a disposição final adequada sendo frequentemente realizada em aterros sanitários. No entanto, a degradação anaeróbia dos resíduos nesses locais gera um líquido poluente chamado lixiviado. A composição do lixiviado varia de acordo com diversos fatores, incluindo as características dos resíduos, o método de operação do aterro, o clima local e a forma como ocorre a decomposição da matéria orgânica presente (El Fadel et al., 2002; Kjeldsen et al., 2002; Moravia, 2010).

Uma alternativa para a biorremediação de lixiviados de aterros sanitários é o uso de microalgas, devido à sua capacidade de assimilar nutrientes presentes no lixiviado (Chang et al., 2018). No entanto, para o crescimento eficaz das microalgas, condições adequadas, como luz e nutrientes essenciais, como carbono, nitrogênio e fósforo (relação C:N:P), são necessárias. A relação C:N:P varia de acordo com a espécie de microalga e as condições de cultivo.

O lixiviado de aterro geralmente tem alta concentração de carbono orgânico total (COT), mas baixa concentração de fósforo (Paiva et al., 2021; Paskuliakova et al., 2016). Nesse contexto, a utilização de esgoto sanitário como fonte de fósforo pode ser uma alternativa viável para favorecer o crescimento das algas, já que o esgoto possui limitação de carbono (Couto et al., 2017), complementando o lixiviado para obter uma relação C:N:P adequada.

Além de servirem como indicadores de presença de nitrogênio e fósforo no meio, as algas desempenham um papel importante na biorremediação, absorvendo impurezas presentes no esgoto, como carbono, nitrogênio e fósforo (Caporgno et al., 2015). Assim, após a mistura de diferentes quantidades de lixiviado de aterro com esgoto sanitário, com a finalidade de mitigar a limitação de carbono e fósforo no meio de cultivo das algas, favorecendo o seu crescimento e a remoção dos nutrientes, o objetivo deste estudo é avaliar o

comportamento do nitrogênio e fósforo, verificando se foram removidos por assimilação pelas algas.

Metodologia

O estudo ocorreu na UNIFEI-campus Itabira. A pesquisa realizou um experimento com a mistura de esgoto efluente de reator anaeróbio de manta de lodo e fluxo ascendente (reator UASB) e lixiviado de aterro sanitário, ambas em diferentes proporções.

Para o experimento, foram realizados três tratamentos, todos com 10% de inóculo (v.v⁻¹) e uma proporção de esgoto e lixiviado de aterro diferentes. Para a produção do inóculo, foram utilizados cerca de 4 litros de esgoto sanitário, devido ao alto teor de nutrientes, que foi exposto ao sol para desenvolvimento de espécies autóctones de microalgas. Para o tratamento 1 (T1), foi utilizado 10% de inóculo, 100% de efluente do UASB, e não houve adição de lixiviado de aterro. Para o tratamento 2 (T2), foi utilizado 90% de esgoto e 10% de lixiviado de aterro. E por fim, para o tratamento 3 (T3), foi utilizado 80% de efluente e 20% de lixiviado de aterro. Todos os tratamentos totalizaram 2000 ml e foram realizados em duplicata.

O esgoto utilizado no experimento foi coletado na Estação de tratamento de esgoto (ETE) - Laboreaux, operada pelo Serviço autônomo de água e esgoto (SAAE) de Itabira e o lixiviado, no aterro sanitário, ambos localizados na cidade de Itabira-MG. Foram realizadas análises de alcalinidade, nitrogênio orgânico, amoniacal e total, sólidos totais, suspensos e voláteis, fósforo total e solúvel, condutividade elétrica e pH. Todas as análises realizadas foram de acordo com *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (Apha, 2012), com exceção do nitrato, em que foi utilizada a metodologia de Yang (1998).

As análises de fósforo solúvel, nitrogênio amoniacal, nitrato, pH e condutividade elétrica foram feitas com intervalo de três dias, a alcalinidade e sólidos que foram realizadas no início e fim do tratamento, e NTK, três vezes ao longo do experimento.

Resultados e discussão

O experimento foi preparado com a mistura de efluente de UASB e lixiviado de aterro sanitário visando complementar os nutrientes e realizar o cultivo das microalgas. Nesse contexto, foram realizadas análise de cada efluente para caracterização, conforme mostrado na Figura 1.

Figura 1 - Características do Efluente de UASB e lixiviado de aterro

Variáveis	Efluente de UASB	Lixiviado de aterro
Alcalinidade (mg CaCO ₃ /mL)	183,82	4223,82
DQO (mg/L)	47,74	2394,37
NTK (mg/L)	30,54	758,75
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	27,15	666,0
Nitrogênio Orgânico (mg/L)	3,4	92,75
Sólidos suspensos Totais (mg/L)	32	328,3
Sólidos fixos (mg/L)	11	183,3
Sólidos voláteis (mg/L)	21	145
Fósforo Total (mg/L)	5,69	9,53
Fósforo solúvel (mg/L)	4,3	5,7
pH	6,97	7,98
Condutividade elétrica (uS/cm)	453	11295

Fonte: Autora

Na Figura 2 são apresentadas as características iniciais de cada tratamento.

Figura 2 - Características no início dos tratamentos

Variáveis	Tratamento 1	Tratamento 2	Tratamento 3
Alcalinidade (mg CaCO ₃ /mL)	8,08	32,32	62,62
Fósforo solúvel (mg/L)	3,55	3,6	3,65
Nitrogênio Total (mg/L)	43,6	109,4	135,5
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	33,9	83,4	122,5
Nitrogênio Orgânico (mg/L)	9,7	26	13
Nitrato (mg/L)	0,0	0,35	0,45

Fonte: Autora

A partir da análise da figura, é possível perceber que o lixiviado possui alto valor de alcalinidade, provenientes da presença de bicarbonato e carbonato que foram gerados a partir do processo de degradação do nitrogênio orgânico em nitrogênio amoniacal durante o processo de digestão anaeróbia (Paiva et al., 2021). Sendo assim, o carbono inorgânico pode ser utilizado pela biomassa de algas no processo de fotossíntese, fator limitante para águas residuais.

Segundo Paiva (2021), outra característica do lixiviado é a alta condutividade elétrica, que está relacionada às concentrações de cátions e ânions, que estão associados às altas concentrações de sólidos dissolvidos no meio.

O nitrogênio amoniacal presente no lixiviado do aterro ocorre devido à degradação de proteínas, e as altas concentrações são consideradas tóxicas para o crescimento e desenvolvimento das microalgas, graças a toxicidade da amônia (NH₃), que representa sua forma não ionizada (Paiva et al., 2021). Portanto, é importante ressaltar, que o lixiviado bruto não possui condições apropriadas para cultivo de microalgas, sendo necessário sua diluição (Chang et al., 2020).

Com a utilização de lixiviado de aterro como complemento do experimento junto ao efluente de UASB, e com a realização das análises iniciais, através da tabela 1, é possível observar que o tratamento 3, composto por 20% de adição de lixiviado em sua composição apresenta valores mais elevados de praticamente todas as análises realizadas.

Ao longo do experimento, foram obtidos os seguintes valores de pH e de condutividade elétrica, mostrados nas Figuras 3 e 4, respectivamente:

Figura 3 - Valores de pH

Dia	pH			Condutividade elétrica (uS/cm)		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3
0	7,44	7,4	7,51	530	4743,5	9155
3	9,07	9,09	9,17	470	1653,5	2710
7	7,98	7,89	8,35	444	1400,5	2695
9	7,2	7,37	7,9	381	1365	2234,5
12	7,13	7,24	7,49	335	1251,5	2150

Fonte: Autora

Com a análise da Figura 3, é possível perceber que no terceiro e sétimo dia de experimento os valores de pH foram mais altos em relação aos outros dias de análise, o que pode indicar que as algas estavam realizando fotossíntese, fazendo com que o pH fosse mais elevado.

A Figura 4 representa a concentração de clorofila *a* ao longo dos dias para cada um dos tratamentos, comprovando que entre o terceiro e o nono dia de experimento houve maiores concentrações de clorofila *a* e, conseqüentemente, fotossíntese.

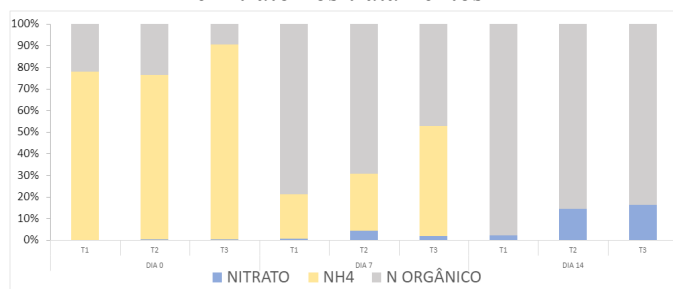
Figura 4 - Concentração de Clorofila *a*

Dia	Clorofila <i>a</i> (mg/L)		
	T1	T2	T3
0	0,34	0,34	0,34
3	1,06	0,39	0,19
7	0,87	0,90	0,42
9	0,87	0,61	0,43
12	0,30	0,89	0,20

Fonte: Autora

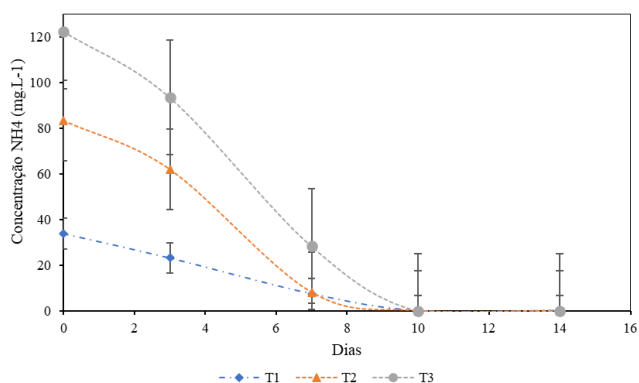
Avaliando a dinâmica do nitrogênio ao longo do experimento, podemos analisar a proporção entre nitrogênio amoniacal, orgânico e nitrato a partir da Figura 5. Já a Figura 6, refere-se ao comportamento da concentração de nitrogênio amoniacal em cada tratamento, e a Figura 7, mostra a concentração de nitrato.

Figura 5 - Proporção de nitrogênio orgânico, amoniacal e nitrato nos tratamentos



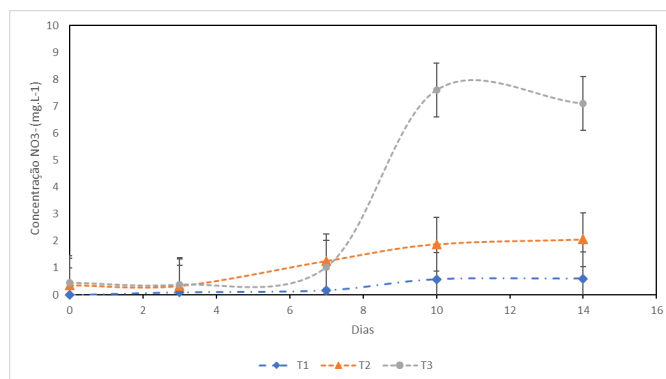
Fonte: autora

Figura 6 - Concentração de nitrogênio amoniacal



Fonte: Autora

Figura 7 - Concentração de nitrato



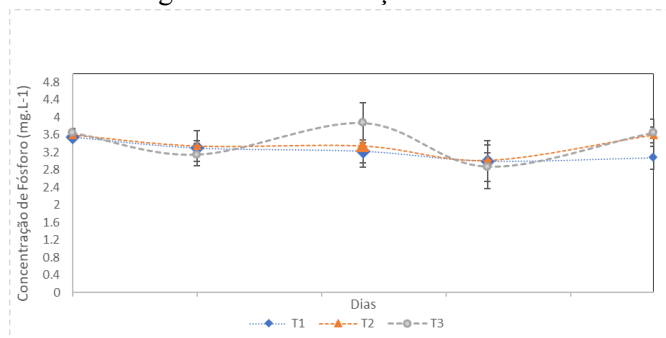
Fonte: Autora

Analisando a Figura 6, percebe-se que no início do experimento, os três tratamentos tinham uma quantidade significativa de nitrogênio amoniacal, no sétimo dia de experimento, houve redução desse componente até extinção total do sistema. Na Figura 7, é possível observar a queda do NH_4^+ , e que a maior quantidade de nitrogênio amoniacal pertencia ao tratamento 3, devido este ter maior quantidade de lixiviado em sua composição. Vale ressaltar que, as concentrações de nitrogênio chegaram a zero quando o pH dos tratamentos estava alto, e sendo assim, quanto maior os valores de pH, mais ocorrerá a formação de amônia, facilitando a volatilização do nitrogênio.

A queda do nitrogênio amoniacal pode ser explicada por volatilização ou assimilação pelas algas. Também, o NH_4^+ pode ter sido convertido em nitrato, sendo que na Figura 5 é notável que no início do tratamento não havia quantidades significativas de nitrato nos três tratamentos, e a partir do sétimo dia houve aumento nas concentrações, sendo mostrado no gráfico 3, que contém elevação das concentrações de nitrato ao longo dos dias de experimento. Em proporção, a concentração de nitrogênio orgânico também teve aumento significativo nos três tratamentos ao longo do experimento.

A Figura 8 apresenta o comportamento do fósforo ao longo do experimento.

Figura 8 - Concentração de fósforo



Fonte: Autora

A partir da análise do gráfico, é notório que as concentrações de fósforo nos meios de cultivo não apresentaram grandes variações, mantendo-se estáveis ao longo do tempo do experimento.

Conclusões

A partir do estudo, houve volatilização de nitrogênio amoniacal do meio, assim como assimilação de nitrogênio pelas algas, sendo que a concentração de nitrogênio amoniacal foi praticamente zero no final do experimento.

Considerando que o NH_4^+ foi a zero nos tratamentos com lixiviado e eles não apresentaram maiores concentrações de clorofila a, pode-se concluir que a volatilização ainda foi o mecanismo responsável pela maior parte da remoção. Assim, as porcentagens de lixiviado utilizadas não foram suficientes para reduzir a limitação de carbono no esgoto e controlar o aumento do pH. Sugere-se a avaliação de novas proporções de lixiviado, de forma a reduzir a limitação de C e controlar a inibição ao crescimento das microalgas.

Agradecimentos

Os autores agradecem também à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais - FAPEMIG, pelo financiamento da pesquisa (APQ-02621-18). Agradecemos ainda aos amigos da pesquisa, por todo auxílio, companheirismo nos experimentos e pelas ideias trocadas ao longo da iniciação científica.

Referências

APHA, A. W. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22th ed. Washington, D.C. American Public Health Association. American Water Works Association, Water Pollution Control Federation, 2012.

Caporgno, M. P.; Taleb, A.; Olkiewicz, M.; Font, J.; Pruvost, J.; Legrand, J.; Bengoa, C.. Microalgae cultivation in urban wastewater: Nutrient removal and biomass production for biodiesel and methane. *Algal Research*, v.10, p.232-239, 2015. DOI:<http://doi.org/10.1016/j.algal.2015.05.011>

Chang, Haixing et al. 2018a. "High-Efficiency Nutrients Reclamation from Landfill Leachate by Microalgae *Chlorella Vulgaris* in Membrane Photobioreactor for Bio-Lipid Production." *Bioresource Technology* 266: 374–81. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.06.077>

Couto, E. A. Calijuri, M. J. Assemany, P. P. & Souza, M. H. B. Effect of depth of high-rate ponds on the assimilation of CO₂ by microalgae cultivated in domestic sewage, *Environmental Technology*, 39:20, 2653-2661, 2017. DOI:

10.1080/09593330.2017.1364302

El-Fadel, M.; Bou-Zeid, E.; Chahine, W.; Alayli, B. Temporal variation of leachate quality from pre-sorted and baled municipal solid waste with high organic and moisture content. *Waste Management*, v.22, p.269-282, 2002.

H. Chang, Y. Zou, R. Hu, N. Zhong, S. Zhao, Y. Zheng, Y. Qin, C. Feng, Cinética da remediação de lixiviados de aterros sanitários e metabolismo de microalgas, bem como avaliação do potencial energético, *J. Limpo. Prod.* 269 (2020), 122413, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122413>.

Kjeldsen P.I.; Barlaz, M.A.; Rooker, A.P.; Baun, A.; Ledin, A.; Christensen, T.H. Present and long-term composition of MSW landfill leachate: a review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, v.32, p.297-336, 2002.

Moravia, Wagner Guadagnin. Avaliação do tratamento de lixiviado de aterro sanitário através de processo oxidativo avançado conjugado com sistema de separação por membranas. Belo Horizonte, 2010.

Paiva, A. P.; Silva, D. G. F.; Couto, E. Recycling of landfill leachate nutrients from microalgae and potential applications for biomass valorization. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, v. 9, n. 5, p. 105952, 2021.

Paskuliakova, A.; Tonry, S.; Touzet, N. Phycoremediation of landfill leachate with chlorophytes: Phosphate a limiting factor on ammonia nitrogen removal. *Water Research*, [s.l.], v. 99, p.180-187, ago. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2016.04.029>.