

Remoção de matéria orgânica e nutrientes da vinhaça de cana-de-açúcar em um reator de microalgas-bactérias

Graziele Ruas⁽¹⁾
Mayara Leite Serejo⁽²⁾
Yago Santana Batista⁽³⁾
Maria Alice Nantes⁽⁴⁾

(1) 2,4 Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo e Geografia, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Avenida Costa e Silva s/n, Campo Grande, Brasil

(3) University of Duisburg-Essen, Universitätsstraße 2, 45141 Essen, Alemanha

Resumo: A produção de etanol tem como subproduto a vinhaça, efluente com alto teor de matéria orgânica e nutrientes, baixo pH e alta turbidez. Neste sentido, o potencial de um consórcio microalgas-bactérias em um fotobiorreator na remoção de matéria orgânica e nutrientes da vinhaça de cana-de-açúcar (diluição 20% v/v), bem como a produtividade de biomassa microalgal foram avaliados em um reator HRAP (High Rate Algal Pond) de 12,8 L, operado continuamente. Foram atingidas remoções de DQO (demanda química de oxigênio) de 78,6%, COT (carbono orgânico total) de 74,3%, NT (nitrogênio total) de 95,4%, NH₄⁺ (amônio) de 95% e P (fósforo) de 72,8%, atendendo aos padrões de lançamento de efluentes e podendo, o efluente tratado, ser utilizado na diluição da vinhaça, tornando o sistema mais econômico e viável em escala real. A produtividade máxima de biomassa foi de 4,1 mg L⁻¹ d⁻¹, resultado da formação de um espesso biofilme nas paredes do reator, crescimento vantajoso energeticamente, pois diminui os custos operacionais para separação das microalgas do meio de cultivo para produção de biocombustíveis.

Palavras-Chave: Biofilme. *Chlorella vulgaris*. HRAP.

Abstract: The production of ethanol produces an effluent called vinasse, effluent with high content of organic matter and nutrients, low pH and high turbidity. In this sense, the potential of a microalga-bacteria consortium in a photobioreactor to remove organic matter and nutrients from sugarcane vinasse (20% v/v dilution), and biomass productivity were evaluated in a High Rate Algal Pond (HRAP) reactor of 12,8 L, continuously operated. Removals of COD (chemical oxygen demand) of 78.6%, TOC (total organic carbon) of 74.3%, TN (total nitrogen) of 95.4%, NH₄⁺ (ammonium) of 95% and P (phosphorus) of 72.8% were reached, within the discharge standards of wastewaters, and the treated effluent can be used in the dilution of the vinasse, making the system more economical and feasible in real scale. The maximum productivity of biomass was 4.1 mg L⁻¹ d⁻¹, resulting from the formation of a thick biofilm in the walls of the reactor, an advantageous growth energetically, since it reduces the operational costs for separation of the microalgae from the culture medium for the production of biofuels.

Key Words: Biofilm. *Chlorella vulgaris*. HRAP.

1 Introdução

O etanol é um biocombustível produzido a partir da fermentação da cana-de-açúcar, milho, soja ou beterraba, que tem se destacado no mundo todo como uma alternativa renovável de energia (Soccol *et al.*, 2016). No Brasil, a partir do ano de 1975, através do Programa Proálcool, a atividade sucroalcooleira cresceu e hoje representa 4,9% da matriz energética brasileira (BRASIL, 2018). A produção anual de etanol no Brasil é de aproximadamente 28 GL ano⁻¹, ano base 2017, (BRASIL,

2018), onde para cada litro de etanol produzido são gerados de 12 a 18 L de vinhaça (Candido e Lombardi, 2017). Então, a estimativa de produção anual de vinhaça no Brasil é de 336 a 504 GL ano⁻¹. A vinhaça de cana-de-açúcar é um líquido marrom com alta turbidez, alta demanda química de oxigênio (DQO), alta carga orgânica e baixo pH (Silva, Griebeler e Borges, 2007). Devido a sua composição e características físico-químicas, é usada pela indústria sucroalcooleira na fertirrigação das plantações de cana-de-açúcar, atendendo as demandas da indústria por fertilizantes, entretanto, em longo prazo, pode causar a salinização do solo e contaminação de águas superficiais e subterrâneas (Silva, Griebeler e Borges, 2007).

O uso de efluentes como meios de cultura para microalgas diminui os custos de produção de biomassa, uma vez que elimina a demanda por água e nutrientes, viabilizando a produção de biomassa. Esta biomassa pode ser utilizada para produção biodiesel, bioetanol ou biogás (Oncel, 2013). O uso de vinhaça digerida anaerobiamente como meio de cultivo para microalgas, ou seja, o tratamento terciário, já tem sido proposto por diversas pesquisas (Candido e Lombardi, 2017; Marques *et al.*, 2013; Serejo *et al.*, 2015). Por exemplo, Serejo *et al.* (2015) demonstraram a viabilidade do tratamento de vinhaça digerida anaerobiamente através do consórcio microalgas-bactérias em reator do tipo HRAP (*High Rate Algal Ponds* – Lagoas de Algas de Altas Taxas). Poucas pesquisas relacionadas ao tratamento secundário e terciário da vinhaça bruta (não digerida) por microalgas podem ser encontradas na literatura, entretanto, são necessárias para diminuição de gastos energéticos com a eliminação de uma fase de tratamento, além da obtenção de uma fonte de energia renovável através da biomassa microalgal. Nesse sentido, os sistemas com consórcio de microrganismos são apontados como alternativa mais viável para o tratamento de efluentes de destilarias, visto que as atividades metabólicas podem ser complementares, ampliando a capacidade tratamento e resistência (Mohana, Acharya e Madamwar, 2009). Os reatores HRAPs apresentam a simbiose de microalgas-bactérias como uma das suas principais características de operação, juntamente com a altura da lâmina de cultivo e velocidade de agitação (Oswald, 1988).

Assim, o objetivo desse trabalho avaliar o potencial de remoção de matéria orgânica e nutrientes da vinhaça bruta, em reator do tipo HRAP de microalgas-bactérias, bem como a produtividade da biomassa.

2 Materiais & Métodos

2.1 Design Experimental

O sistema de tratamento da vinhaça era composto por um HRAP circular, com volume de 11,8 L, área iluminada de 0,105 m² (diâmetro = 36,6 cm) e lâmina de cultivo de 13 cm, seguido de um sedimentador com volume de 0,2 L (Figura 1). O tempo de detenção hidráulica (TDH) do HRAP foi de 7,0±0,0 dias, dentro do intervalo considerado ideal para tratamento de efluentes em HRAPs (3 a 8 dias) (Arbib *et al.*, 2013; Posadas *et al.*, 2015a; Posadas *et al.*, 2015b). Por outro lado, o TDH do sedimentador foi de ≈ 7,1±0,8 minutos. A velocidade de recirculação interna no HRAP foi de 20±2 cm s⁻¹, promovida por duas bombas submersas com vazão nominal de 50 L h⁻¹, modelo S50 (Sarlo Better, Brasil), assegurando a mistura completa e garantindo que as características hidráulicas dos HRAPs convencionais fossem atendidas (Oswald, 1991; Posadas *et al.*, 2015b; Ruas *et al.*, 2018). O

experimento foi realizado em uma casa de vegetação (estufa), localizada na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul durante 28 dias, com temperatura interna de $\approx 34^{\circ}\text{C}$.

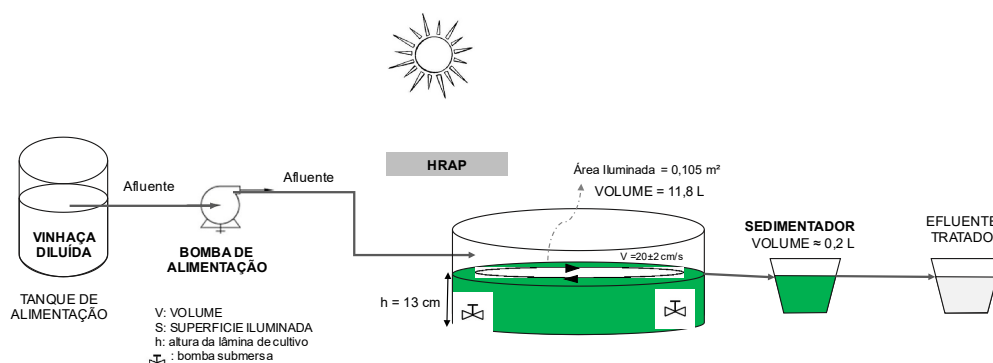


Figura 1: Diagrama esquemático do reator (HRAP) utilizado para remoção de matéria orgânica e nutrientes.

2.2 Vinhaça

A vinhaça foi coletada em uma indústria de açúcar e etanol, em Mato Grosso do Sul, Brasil, e mantida sob refrigeração (4°C) até ser utilizada no experimento. A vinhaça bruta foi diluída vinte vezes (20% v/v) com água destilada (nomeada de VD) para depois ser tratada no HRAP (Posadas *et al.*, 2015b). A diluição foi necessária devido a alta demanda química de oxigênio (DQO) de $\approx 20 \text{ g L}^{-1}$ e baixo pH de 4,0, fatores que podem atrapalhar ou, até mesmo, inviabilizar a atividade fotossintética das microalgas. Em um cenário real, o efluente (tratado) do HRAP, já com baixas concentrações de matéria orgânica, poderia ser utilizado na diluição da vinhaça, aumentando a viabilidade econômica e ambiental do processo. O reator foi preenchido inicialmente com 10,8 L de VD e depois foi alimentado continuamente através de uma bomba (Watson Marlon 505U, UK) com VD.

2.3 Microrganismos e Condições de Cultura

O HRAP foi inoculado com 0,78 L de uma cultura de microalgas com 0,9 g de sólidos suspensos totais (SST) L^{-1} ($\approx 97\%$ *Chlorella vulgaris*) e 0,13 L de lodo aeróbio nitrificante-desnitrificante, com 8,1 g SST L^{-1} , de uma Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) de Campo Grande, Mato Grosso do Sul. A cultura de microalgas inoculada no reator foi previamente aclimatada à VD antes de ser inoculada, conforme Serejo *et al.* (2015).

2.4 Condições Operacionais e Procedimentos de Coleta

O reator foi operado durante 28 dias, continuamente, a fim de se estudar a remoção de matéria orgânica e nutrientes da vinhaça diluída em sistemas simbiótico microalgas-bactérias. A concentração inicial de demanda química de oxigênio (DQO), carga orgânica aplicada (COA), alcalinidade total, carbono orgânico total (COT), carbono inorgânico (CI), nitrogênio total (NT), N-NH_4 , NO_2^- , NO_3^- , fosforo (P), sólidos suspensos totais (SST) e pH são apresentados na Tabela 1.

Duas vezes por semana foram coletadas amostras de 300 mL do afluente (entrada do HRAP, depois da bomba de alimentação) e do efluente (saída do sedimentador – S) para monitoramento da concentração solúvel de DQO, alcalinidade total, Cl, COT, N-NH₄, NO₂⁻, NO₃⁻, P e não solúvel de SST e turbidez. As amostras foram filtradas previamente em filtro de nylon de 0,20 µm, simulando uma unidade de colheita da biomassa com um módulo de membrana (Posadas, *et al.*, 2015b). A temperatura ambiente, temperatura do reator, turbidez do reator, intensidade luminosa, pH e oxigênio dissolvido (OD) foram medidos diariamente. Os valores de alcalinidade total e pH foram utilizados para calcular o valor do carbono inorgânico (Wolf-Gladrow *et al.*, 2007). A taxa de evaporação diária foi determinada pela diferença entre a vazão de entrada e saída do reator (Serejo *et al.*, 2015), sendo, portanto, medida e calibrada a vazão de entrada três vezes por semana e a vazão de saída medida diariamente em proveta graduada. As coletas e análises diárias foram realizadas às 10:00 horas da manhã em todo período experimental.

Tabela 1: Caracterização inicial da Vinhaça Diluída (VD).

Parâmetros	Unidade	VD
DQO	mg O ₂ L ⁻¹	704±14 ^a
COA	g DQO m ² d ⁻¹	11,17±0,22 ^a
COT	mg C L ⁻¹	263,8±3,8 ^a
IC	mg C L ⁻¹	161,9±30,8 ^a
NT	mg N L ⁻¹	40,6±2,3 ^a
N-NH ₄ ⁺	mg N-NH ₄ ⁺ L ⁻¹	18,1±10,13 ^a
N-NO ₂ ⁻	mg N-NO ₂ ⁻ L ⁻¹	1,3±0,8
N-NO ₃ ⁻	mg N-NO ₃ ⁻ L ⁻¹	nd
P	mg P-PO ₄ ⁻³ L ⁻¹	1,40±0,06 ^a
pH	-	7,3±0,4 ^a
C/N/P	-	100:9,5:0,3 ^a
pH	-	7,2±0,4 ^a

^a Valores médios e desvio padrão. nd= não detectado.

2.5 Equações Utilizadas

A remoção de DQO, COT, NT, N-NH₄ e P foram determinados segundo a equação (1).

$$RE_i(\%) = \frac{X_{i,AFLUENTE} \times Q_{AFLUENTE} - X_{i,EFLUENTE} \times Q_{EFLUENTE}}{X_{i,AFLUENTE} \times Q_{AFLUENTE}} \times 100 \quad (1)$$

Nesta equação X_{i,AFLUENTE} e X_{i,EFLUENTE} representam respectivamente as concentração de entrada e saída (mg L⁻¹).



Onde SST_{HRAP} e $SST_{EFLUENTE}$ correspondem respectivamente a concentração de SST ($g\ L^{-1}$) no líquido de cultivo do HRAP e no efluente de saída do decantador.

Já a produtividade de Biomassa (B , $g\ m^{-2}SuperfícieHRAP\ d^{-1}$) foi estimado de acordo com a equação (4):

$$B = \frac{SST_{HRAP} \times Q_{EFLUENTE}}{S} \quad (4)$$

Onde SST_{HRAP} corresponde a concentração de SST no HRAP ($g\ L^{-1}$), $Q_{EFLUENTE}$ é a vazão de saída e S é a superfície iluminado do HRAP ($0,105\ m^2$).

2.6 Procedimentos Analíticos

As concentrações de COT e IC foram determinadas em analisador TOC- V_{CSH} (Shimadzu, Japão). O NT foi mensurado usando kit Hach, método 10071, com espectrofotômetro DR 6000 UV VIS (Hach, Canadá). $N-NH_4^+$ e pH foram medidos com o Orion Five Star multiparâmetros (ThermoScientific, Holanda). $N-NO_3^-$, $N-NO_2^-$ e $P-PO_4^{3-}$ foram determinados usando um DionexUltiMate ICS 1100 com coluna IonPac AG19/AS19 (ThermoScientific, EUA). Todas as análises foram realizadas de acordo com *Standard Methods* (APHA, 2012). A turbidez foi determinada através de turbidímetro Hanna modelo HI98703-01 (Hanna instruments, EUA). OD e temperatura nos reatores foram determinados com Oxímetro 9500 DO_2 (Jenway, Reino Unido). A intensidade luminosa foi determinada com luxímetro LX-101 (Lutron Corporation, Taiwan).

3 Resultados e Discussão

3.1 Condições Ambientais e Operacionais do HRAP

A operação do reator aconteceu no mês de Julho e Agosto, marcados por temperatura ambiente variando de 10 a 40°C (Figura 2) e média de $21,8 \pm 5,7^\circ C$.

Temperatura do Ar

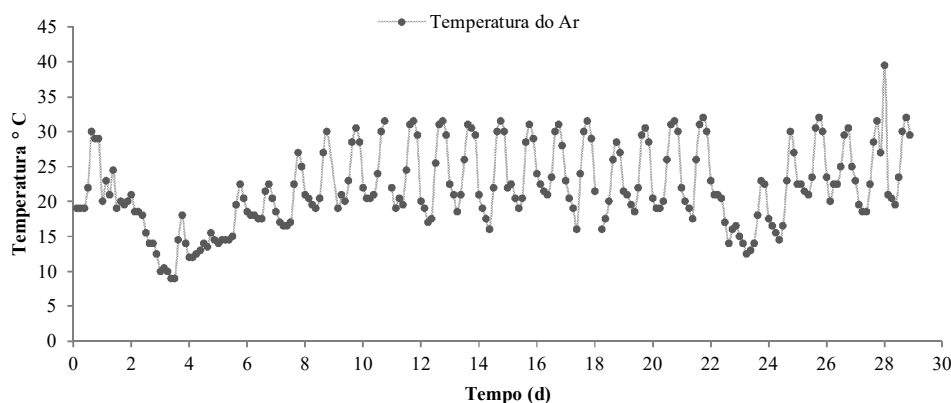


Figura 2: Variação diária da Temperatura ($^\circ C$).

Já os valores de radiação solar diária acumulada ficaram acima de 6,5 MJ/m² em mais de 85% do período de operação e a Umidade Relativa do Ar (%) variou entre 30 e 100%.

Tabela 2: Valores médios, máximos e mínimo do pH, TDH, temperatura OD e taxa de evaporação do meio de cultivo durante o período experimental.

Parâmetros	Unidade	Média $\pm$ SD	Máximo	Mínimo
pH	-	8,69 $\pm$ 0,30	9,17	8,17
TDH	dias	6,97 $\pm$ 0,01	6,97	6,93
OD	mg O ₂ L ⁻¹	3,5 $\pm$ 3,1	10,0	0,0
Temperatura	°C	31,0 $\pm$ 3,3	38	29,5
PAR	μ mol m ⁻² s ⁻¹	654 $\pm$ 179	860	195
Taxa de Evaporação	L m ⁻² d ⁻¹	7,58 $\pm$ 1,81	9,8	3,6

A relação C/N/P da VD (Tabela 1), comparada com o ótimo reportado para o crescimento microalgal, 100/18/2 (Oswald, 1988), sugere que o crescimento da biomassa e tratamento do efluente foi limitado por Nitrogênio e Fósforo. Assim, uma alternativa interessante seria a diluição da vinhaça em outro efluente (co-digestão) com maiores concentrações de nitrogênio e fósforo, para balancear a relação C/N/P.

Durante os 28 dias de operação do HRAP, o pH médio do meio de cultivo foi de 8,69 $\pm$ 0,30 (Tabela 2), acima do encontrados por Marques *et al.* (2013) e Candido e Lombardi (2017) de $\approx$ 7.0. Valores de pH acima de 7 pode significar que a taxa de fotossíntese foi maior que a respiração (Candido e Lombardi, 2017).

O valor mínimo de OD para que ocorra oxidação da matéria orgânica e nitrificação, sem limitações, é acima de 2 mg O₂ L⁻¹ (Metcalf e Eddy, 2016). Apesar do OD médio para o período ficar acima do valor limite (3,5 $\pm$ 3,1 mg O₂ L⁻¹), o OD ficou abaixo do ideal em vários dias de operação, o que pode ter causado limitações na remoção de matéria orgânica e nitrogênio, principalmente para a comunidade bacteriana nitrificante-desnitrificante (Posadas *et al.*, 2013).

A temperatura é um dos fatores ambientais que mais afeta o crescimento e composição dos microrganismos, pois influencia diretamente na atividade enzimática e funcionamento da membrana celular (Zeng *et al.*, 2011). A temperatura ideal para cultivo de *Chlorella vulgaris* é $\approx$ 30°C, na qual a máxima produtividade é atingida (Chinnasamy *et al.*, 2009; Converti, 2009). Durante o experimento, a temperatura média do meio de cultivo foi de 31 $\pm$ 3°C, porém com máximas de 38 C (Tabela 2), o que pode ter limitado também a taxa de crescimento e a remoção de nutrientes, já que para temperaturas entre 30 e 35°C sua taxa de crescimento diminui (Cassidy, 2011).

A taxa de evaporação (7,3 $\pm$ 1,8) ficou um pouco acima do limite superior do intervalo reportado para HARPs que são operados ao ar livre ($\approx$ 2–7 L m⁻² d⁻¹) (Guieysse *et al.*, 2013), possivelmente devido altas temperaturas na casa de vegetação.

3.2 Remoções de matéria orgânica e nutrientes e padrões de lançamento de efluentes

As remoções de DQO, COT, NT, NH₄⁺, NO₃⁻, NO₂⁻ e P estão resumidas na Tabela 3.



Tabela 3: Remoções de matéria orgânica e nutrientes (DQO, COT, P, NT, NH_4^+ , NO_3^- e NO_2^-) no HRAP e parâmetros de lançamento de efluentes e enquadramento de rios Classe 3 no Brasil. Na entrada e saída são apresentados os valores médios e desvio padrão durante o período de monitoramento.

Parâmetro	Unidade	Entrada	Saída	Remoção (%)	Condições de lançamento ^a	Enquadramento (Classe 3- Águas Doces) ^b
DQO	mg O_2 L ⁻¹	704±14	151±2	78,6	DBO _{5,20} com remoção mínima de 60%	DBO _{5,20} ≤10
COT	mg C L ⁻¹	263,8±3,8	68±6,5	74,3	-	-
P	mg P- PO_4^{3-} L ⁻¹	1,40±0,06	0,3±0,1	72,8	-	Ambiente lântico = 0,05 Ambiente lótico = 0,15
NT	mg N L ⁻¹	40,6±2,3	1,87±0,08	95,4	-	-
N- NH_4^+	mg N- NH_4^+ L ⁻¹	18,1±10,1	0,6±0,2	95,0	Máximo de 20,0	13,3 (pH≤7,5) 5,6 (7,5<pH≤8,0) 2,2 (8<pH≤8,5) 1,0 (pH>8,5)
N- NO_3^-	mg N- NO_3^- L ⁻¹	Nd	0,64±0,06	-	-	10
N- NO_2^-	mg N- NO_2^- L ⁻¹	1,3±0,8	0,29±0,11	75,3	-	1
pH	-	7,3±0,4	8,69±0,30	-	pH: 5,0 a 9,0	pH: 6,0 a 9,0

^aRemoção mínima e valores máximos de lançamento de efluentes conforme Conama 430/2011. ^bValores máximos para enquadramento na Classe 3, conforme Conama 357/2010.

A remoção de DQO e COT foi de 78,6 e 74,3%, respectivamente. Bastos *et al.* (2017) obtiveram remoção de COT de ≈ 71%, mas com C/N (≈ 5) ajustado com glicose e nitrato, e cultivo em batelada de microalga filamentosas. Marques *et al.* (2013), utilizando *Chlorella vulgaris* e vinhaça digerida e diluída (25%) como meio de cultivo, encontrou remoção de DQO de 74%, próximo do encontrado nesse estudo. As remoções de P- PO_4 e NH_4^+ no HRAP foram de 72,8% e 95%, respectivamente, não ocorrendo remoção de NO_3^- . Abaixo das remoções encontradas por Marques *et al.* (2013), que ficaram próximas de 100%. No HRAP ainda ocorreram remoções de NT e de NO_2^- de 95,4% e 75,3%, respectivamente, possivelmente via nitrificação.

O padrão de lançamento de efluentes em corpos hídricos, descrito pela Resolução CONAMA 430 de 2011 (BRASIL, 2011), determina que o efluente lançado deve ter uma remoção mínima de 60% da DBO_{5,20}, no HRAP a remoção de DQO e COT foi de 78,6 e 74,3%, respectivamente, atingindo portanto, a remoção mínima requerida. Outros parâmetros especificados na Resolução CONAMA 430/2011 é a concentração de N- NH_4^+ , que deve estar abaixo de 20 mg/L, e o pH, entre 5 e 9, padrões também atingido no tratamento no HRAP (Tabela 3).

Além de atender aos padrões de lançamento o efluente os padrões do corpo receptor, descrito pela Resolução CONAMA 357 de 2010 (BRASIL, 2010), também devem ser observados, afim de que a disposição do efluente não altera seu enquadramento, ou seja, diminua a qualidade da água. Estão descritos na Tabela 3 os padrões de um corpo receptor de Classe 3, ao qual se deseja lançar a VD tratado, observa-se que a DBO_{5,20} (COT) destoa do determinado na norma, mas como devem ser consideradas a vazão e capacidade de assimilação de um corpo hídrico médio, todos os parâmetros são atendidos (Sperling, Von, 2005).

3.3 Produtividade



O parâmetro de monitoramento do crescimento da biomassa algal foi a turbidez (NTU), apresentando valores médios de 365 ± 64 NTU e valor máximo e mínimo de 483 e 228 NTU, respectivamente. Na Figura 3 são apresentados os valores de turbidez diários, valores que decresceram depois do vigésimo dia de operação. Juntamente com o decréscimo da turbidez, e alta remoção de DQO, COT e nutrientes (Tabela 3), foi observado então no reator, a formação de um biofilme.

A produtividade das microalgas, em suspensão, foi calculada através da correlação entre a turbidez e conteúdo de biomassa seca, biomassa em sólidos suspensos totais (g SST L^{-1}), através da Equação (5), determinada conforme Toyoda *et al.* (2011).

$$SST = 0,9497 \times \text{Turbidez}; R^2 = 0,9929 \quad (5)$$

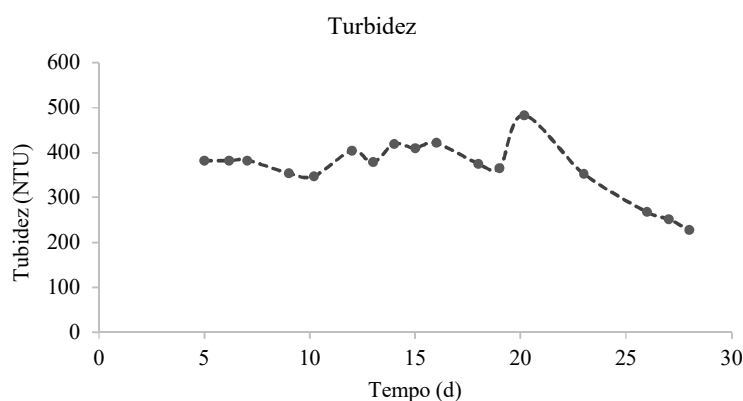


Figura 3: Turbidez do meio de cultivo durante o período experimental (28 dias).

A produtividade máxima e mínima foi de $4,1$ e $0,0 \text{ mg L}^{-1} \text{ d}^{-1}$, com valores médios de $2,5 \pm 1,1 \text{ mg L}^{-1} \text{ d}^{-1}$. Dos Santos *et al.* (2016) atingiram produtividades muito superiores as encontradas nesses estudos, $\approx 87 \text{ mg L}^{-1} \text{ d}^{-1}$, mas cultivaram a microalga *Spirulina máxima* em apenas 3% v/v de vinhaça bruta no meio de cultivo, diferente dos 20% v/v usados nesse estudo. A baixa produtividade no meio de cultivo e formação de biofilme pode ter sido uma resposta dos microrganismos as condições nutricionais do meio, alta concentração de matéria orgânica e baixa disponibilidade de nutrientes (Abinandan *et al.*, 2018), e também a presença de melanoidinas na vinhaça, substâncias poliméricas recalcitrantes com fortes propriedades antioxidantes, que podem ser tóxicas para os microrganismos (Mohana *et al.*, 2009; Pant e Adholeya, 2007).

4 Conclusões

O uso de HRAP para o tratamento de vinhaça promoveu uma remoção de 78,6% de DQO, 95,4% de nitrogênio e 72,8% de fósforo. Além disso, uma produtividade máxima de $4,1 \text{ mg L}^{-1} \text{ d}^{-1}$ foi encontrada, biomassa microalgal que pode ser utilizada na produção de biocombustíveis como biodiesel, biogás ou bioetanol. O crescimento microalgal em biofilme torna a sua possível utilização para produção energética mais vantajosa, visto que a separação das microalgas em suspensão do

meio de cultivo é a etapa mais caro para o processo de produção de biocombustíveis através de microalgas. Por fim, o efluente tratado poderia ser utilizado na diluição da vinhaça bruta, melhorando a vantagem ambiental e econômica do processo, pois eliminaria a necessidade de diluição com água. Além de atender aos padrões de lançamento e enquadramento de um corpo receptor de Classe 3.

5 Referências

- ABINANDAN, S., SUBASHCHANDRABOSE, S. R., VENKATESWARLU, K., MEGHARAJ, M.. Microalgae–bacteria biofilms: a sustainable synergistic approach in remediation of acid mine drainage. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 102, n. 3, p. 1131–1144, 2018.
- ARBIB, Z., RUIZ, J., ÁLVAREZ-DÍAZ, P., GARRIDO-PÉREZ, C., BARRAGAN, J., PERALES, J. A.. Effect of pH control by means of flue gas addition on three different photo-bioreactors treating urban wastewater in long-term operation. **Ecological Engineering**, v. 57, p. 226–235, 2013.
- BASTOS, R. G.; FONTE, J. C.; PIZARRO, I. F. Influence of C/N ratio in growth of cyanobacteria *Geitlerinema* sp. from sugarcane vinasse. **2017 Spokane, Washington July 16 - July 19, 2017**, p. 1–5, 2017.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Resenha Energetica Brasileira 2018 - Ano Base 2017**. Brasília - DF.
- BRASIL, CONAMA Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA** nº357, de 17 de março de 2005. Classificação de águas, doces, salobras e salinas do Território Nacional.
- BRASIL, CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA** nº 430, de 13 de maio de 201 Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005.
- CANDIDO, C.; LOMBARDI, A. T. Growth of *Chlorella vulgaris* in treated conventional and biodigested vinasses. **Journal of Applied Phycology**, v. 29, n. 1, p. 45–53, 2017.
- CASSIDY, K. O. Evaluating Algal Growth At Different Temperatures. **Theses and Dissertations - Biosystems and Agricultural Engineering**, v. 3, p. 1–59, 2011.
- CHINNASAMY, S. RAMAKRISHNAN, B., BHATNAGAR, A., DAS, K. C. Biomass production potential of a wastewater alga *Chlorella vulgaris* ARC 1 under elevated levels of CO₂ and temperature. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 10, n. 2, p. 518–532, 2009.
- CONVERTI, A., CASAZZA, A. A., ORTIZ, E. Y., PEREGO, P., DEL BORGHI, M. Effect of temperature and nitrogen concentration on the growth and lipid content of *Nannochloropsis oculata* and *Chlorella vulgaris* for biodiesel production. **Chemical Engineering and Processing**, v. 48, p. 1146–1151, 2009.
- GUIEYSSE, B.; BÉCHET, Q.; SHILTON, A. Variability and uncertainty in water demand and water footprint assessments of fresh algae cultivation based on case studies from five climatic regions. **Bioresource technology**, v. 128, p. 317–23, jan. 2013.

- MARQUES, S. S. I. NASCIMENTO, I. A., DE ALMEIDA, P. F., CHINALIA, F. A. Growth of *Chlorella vulgaris* on sugarcane vinasse: The effect of anaerobic digestion pretreatment. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v. 171, n. 8, p. 1933–1943, 2013.
- METCALF; EDDY. **Tratamento de Efluentes e Recuperação de Recursos**. 5. ed. Porto Alegre: AMGH Editora Ltda, 2016.
- MOHANA, S.; ACHARYA, B. K.; MADAMWAR, D. Distillery spent wash: Treatment technologies and potential applications. **Journal of Hazardous Materials**, v. 163, n. 1, p. 12–25, 2009.
- ONCEL, S. S. Microalgae for a macroenergy world. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 26, p. 241–264, out. 2013.
- OSWALD, W.J., 1988. **Micro-algae and waste-water treatment**. In: Borowitzka, M.A., Borowitzka, L.J. (Eds.), *Micro-Algal Biotechnology*. Cambridge University Press, pp. 305–328.
- OSWALD, W. J. Introduction to advanced integrated wastewater ponding systems. **Water Science and Technology**, v. 24, n. 5, p. 1–7, 1991.
- PANT, D.; ADHOLEYA, A. Biological approaches for treatment of distillery wastewater: A review. **Bioresource Technology**, v. 98, n. 12, p. 2321–2334, 2007.
- POSADAS, E. GARCÍA-ENCINA, P. A., SOLTAU, A., DOMÍNGUEZ, A., DÍAZ, I., MUÑOZ, R.. Carbon and nutrient removal from centrates and domestic wastewater using algal-bacterial biofilm bioreactors. **Bioresource technology**, v. 139, p. 50–8, jul. 2013.
- POSADAS, E.; SZPAK, D.; LOMBÓ, F., DOMÍNGUEZ, A., DÍAZ, I., BLANCO, S., GARCÍA-ENCINA, P. A., MUÑOZ, R. Feasibility study of biogas upgrading coupled with nutrient removal from anaerobic effluents using microalgae-based processes. **Journal of Applied Phycology**, n. April, 2015a.
- POSADAS, E., MORALES, M. DEL M., GOMEZ, C., ACIÉN, F. G., MUÑOZ, R. Influence of pH and CO₂ source on the performance of microalgae-based secondary domestic wastewater treatment in outdoors pilot raceways. **Chemical Engineering Journal**, v. 265, p. 239–248, abr. 2015b.
- POSADAS, E.; SEREJO, M. L.; BLANCO, S., PÉREZ, R., GARCÍA-ENCINA, P. A., MUÑOZ, R. Minimization of biomethane oxygen concentration during biogas upgrading in algal–bacterial photobioreactors. **Algal Research**, v. 12, p. 221–229, nov. 2015.
- RUAS, G, SEREJO, M. L., PAULO, P. L., BONCZ, M. Á. Evaluation of domestic wastewater treatment using microalgal-bacterial processes: effect of CO₂ addition on pathogen removal. **Journal of Applied Phycology**, v. 30, n. 2, p. 921–929, 2018.
- DOS SANTOS, R. R., ARAÚJO, O. DE Q. F., DE MEDEIROS, J. L., & CHALOUB, R. M.. Cultivation of *Spirulina maxima* in medium supplemented with sugarcane vinasse. **Bioresource Technology**, v. 204, p. 38–48, 2016.
- SEREJO, M. L., POSADAS, E., BONCZ, M. A., BLANCO, S., GARCÍA-ENCINA, P., MUÑOZ, R. Influence of biogas flow rate on biomass composition during the optimization of biogas upgrading in microalgal-bacterial processes. **Environmental science & technology**, v. 49, n. 5, p. 3228–36, 2015.

- SILVA, M. A S. DA; GRIEBELER, N. P.; BORGES, L. C. Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático\Use of stillage and its impact on soil properties and groundwater. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 1, p. 108–114, 2007.
- SOCCOL, C. R. BRAR, S. K., FAULDS, C., RAMOS, L. P. **Green Fuels Technology**. Switzerland: © Springer International Publishing, 2016.
- SPERLING, M. VON. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.
- TOYODA, K.; GISHI, M.; IHARA, I. **Effect of light quality and nutrients on growth of hydrocarbon-rich microalgae, *Botryococcus braunii***Acta Horticulturae. **Anais...VI International Symposium on Light in Horticulture**, 2011
- WOLF-GLADROW, D. A. ZEEBE, R. E., KLAAS, C., KÖRTZINGER, A., DICKSON, A. G.. Total alkalinity: The explicit conservative expression and its application to biogeochemical processes. **Marine Chemistry**, v. 106, n. 1–2, p. 287–300, 2007.
- ZENG, Y., JI, X. J., LIAN, M., REN, L. J., JIN, L. J., OUYANG, P. K., & HUANG, H. Development of a temperature shift strategy for efficient docosahexaenoic acid production by a marine fungoid protist, *Schizochytrium* sp. HX-308. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v. 164, n. 3, p. 249–255, 2011.

Data de submissão: 28 agos. 2018. ### Data de aprovação: 31 agos. 2018.

