

Redução de nutrientes da vinhaça por microalgas *Chlorella vulgaris*

Nutrient reduction from vinasse by *Chlorella vulgaris* microalgae

Reducción de nutrientes de vinaza con microalgas *Chlorella vulgaris*

Recebido: 29/09/2020 | Revisado: 05/10/2020 | Aceito: 08/10/2020 | Publicado: 09/10/2020

Juliane C. Forti

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8084-2336>

Universidade Estadual Paulista/ Faculdade de Ciências e Engenharia, Brasil

E-mail: juliane.forti@unesp.br

Maria Gabriela D. B. Lanza

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9855-2572>

Universidade Estadual Paulista/ Faculdade de Ciências e Engenharia, Brasil

E-mail: mariadantasbl@gmail.com

Matheus S. Ferreira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4274-8909>

Universidade Estadual Paulista/ Faculdade de Ciências e Engenharia, Brasil

E-mail: mathioba@gmail.com

Rafael R. de Souza

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9630-7837>

Universidade Estadual Paulista/ Faculdade de Ciências e Engenharia, Brasil

E-mail: rafrabelo@hotmail.com

Raul A. M. Uribe

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7409-313X>

Universidade Estadual Paulista/ Faculdade de Ciências e Engenharia, Brasil

E-mail: raul.uribe@unesp.br

Felipe A. dos Santos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7264-3396>

Universidade Estadual Paulista/ Faculdade de Ciências e Engenharia, Brasil

E-mail: felipe.andre@unesp.br

Resumo

As indústrias sucroalcoólicas são as responsáveis pela produção de etanol e açúcar, contudo um subproduto é gerado em grande quantidade nessa produção, a vinhaça que possui alto

poder poluente e alto valor fertilizante. Grande parte da vinhaça é usada na fertirrigação, entretanto, as usinas têm encontrado dificuldades de destino da mesma devido à saturação do solo após um período de utilização. Nesta saturação do solo destaca-se a grande concentração de alguns nutrientes, principalmente do potássio, que pode prejudicar o crescimento vegetal devido ao desequilíbrio de nutrientes. O objetivo desse trabalho foi realizar o tratamento da vinhaça proveniente de uma usina sucroalcooleira com a utilização de microalgas *Chlorella vulgaris* (Kessler & Huss, 1992), visando reduzir alguns nutrientes presentes, principalmente o potássio, a fim de garantir um melhor reaproveitamento deste na fertirrigação dos canaviais. Os resultados mostraram a eficiência do tratamento usando microalgas na redução das concentrações de potássio, sódio e cálcio. Estas reduções fazem com que a vinhaça possua uma maior disponibilidade para ser utilizada na fertirrigação nos canaviais da própria empresa que, conseqüentemente, acaba reduzindo os gastos com a compra de fertilizantes minerais, fechando assim um ciclo ecológico de produção e reutilização do próprio resíduo gerado.

Palavras-chave: Resíduo; Vinhaça; Saturação de solo; Potássio; Microalgas.

Abstract

The sugar-alcohol industries are responsible for the production of ethanol and sugar; however, a byproduct is generated in large quantities in this production, as vinasse that has high pollutant power and high fertilizing value. Much of the vinasse is used for fertigation, however, plants have encountered difficulties due to soil saturation after a period of use. This soil saturation highlights the high concentration of some nutrients, especially potassium, which can impair plant growth due to nutrient imbalance. The objective of this work was to treat the vinasse from a sugarcane plant with the use of *Chlorella vulgaris* (Kessler & Huss, 1992), microalgae, aiming to reduce some nutrients present, especially potassium, to ensure better reuse of this in the fertigation of sugarcane. The results showed the efficiency of treatment using microalgae in reducing potassium, sodium and calcium concentrations. These reductions make the vinasse more available to be used for fertigation in the company's sugarcane fields, which consequently reduces the purchase of mineral fertilizers, thus closing an ecological cycle of production and reuse of the waste generated.

Keywords: Waste, Vinasse; Soil saturation; Potassium; Microalgae.

Resumen

Los centrales azucareros son responsables por la producción de etanol y azúcar, sin embargo, se genera un subproducto en grandes cantidades en esta producción, como vinaza que tiene un

alto poder contaminante y un alto valor fertilizante. Gran parte de la vinaza se utiliza en fertirrigación, sin embargo, los centrales han encontrado dificultades debido a la saturación del suelo después de un período de uso. En esta saturación del suelo, hay una alta concentración de algunos nutrientes, principalmente potasio, que pueden afectar el crecimiento de las plantas debido al desequilibrio de nutrientes. El objetivo de este trabajo fue realizar el tratamiento de la vinaza de una planta de azúcar y alcohol utilizando microalgas *Chlorella vulgaris* (Kessler & Huss, 1992), con el fin de reducir algunos nutrientes presentes, principalmente potasio, garantizando una mejor reutilización de este en la fertilización de campos de caña de azúcar. Los resultados mostraron la eficacia del tratamiento con microalgas en la reducción de las concentraciones de potasio, sodio y calcio. Estas reducciones hacen que la vinaza esté más disponible para ser utilizada en fertirrigación en los propios campos de caña de azúcar de la empresa, lo que, en consecuencia, termina reduciendo gastos con la compra de fertilizantes minerales, cerrando así un ciclo ecológico de producción y reutilización de los propios residuos generados.

Palabras clave: Resíduo; Vinaza; Saturación del suelo; Potássio; Microalgas.

1. Introdução

Devido ao crescimento e ao desenvolvimento econômico, a cana-de-açúcar vem se destacando comercialmente para produção de açúcar e etanol. Um dos subprodutos das usinas sucroalcooleiras é a vinhaça, um resíduo líquido que possui uma coloração marrom escura e um forte odor característico. A vinhaça é caracterizada como um efluente de destilarias com alto poder poluente e alto valor como fertilizante (Silva, et al., 2007). Apresenta potencial poluente, cerca de cem vezes maior a do esgoto doméstico, devido a grande quantidade de matéria orgânica, além de possuir três importantes componentes: nitrogênio, fósforo e potássio (Batista, et al., 2011). Dentre os impactos ambientais causados pela vinhaça, destaca-se a poluição das águas superficiais por acidentes (acidentes com barragens e transporte), o risco de contaminação das águas subterrâneas (armazenamento) e a saturação do solo, principalmente causada pelo potássio.

A utilização da vinhaça na adubação é realizada via fertirrigação, técnica de disponibilizar nutrientes para os solos e plantas através de sistemas de irrigação (Rodrigues, et al., 2020). As unidades sucroalcooleiras estabelecem um plano de aplicação de vinhaça no início de cada safra, neste estão relacionadas as áreas que receberão vinhaça, as lâminas aplicadas e as concentrações, principalmente de potássio presente no solo. Este plano deve ser

aprovado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) e é regido pela norma técnica P4.321 (CETESB, 2015). Contudo, as usinas têm apresentado dificuldades para dispor de forma correta o efluente, devido principalmente à saturação dos solos próximos às usinas, acarretando o transporte cada vez mais longo, caro e complexo (Braunbeck & Neto, 2014).

Ao adicionar vinhaça de cana-de-açúcar no solo, podem-se acarretar muitos efeitos benéficos ou não nos ecossistemas. Quando depositada no solo, a vinhaça pode melhorar a fertilidade; mas não deve realizar retenção de íons do local aplicado. Portanto, as dosagens devem ser determinadas com base nas características de cada solo, devido às suas quantidades desequilibradas de minerais e elementos e, também, devido a lixiviação de íons que pode ocorrer, especialmente o potássio. O excesso de potássio gera dois problemas: a possibilidade de contaminação por lixiviação dos corpos d'água (Santos, et al, 2009) e o desequilíbrio de bases e elementos como cálcio, magnésio e sódio (Christofolletti, et al., 2013). Este desequilíbrio pode diminuir acentuadamente a absorção de Ca e Mg, devido à concorrência dos locais carregadores nas paredes celulares prejudicando, assim, o crescimento vegetal (Prado, et al., 2004).

A utilização de vinhaça como meio para os cultivos microalgas é uma alternativa que apresenta grande relevância para redução dos riscos ambientais causados pela disposição desse efluente diretamente no solo (Monção, et al., 2018). O cultivo de microalgas *Chorella vulgaris* em vinhaça é conhecido e, desde a sua descoberta, essas microalgas apresentam características - crescimento heterótrofo ou então mixotrófico - que se refere a capacidade de um organismo vivo de produzir seu alimento fixando dióxido de carbono, ao passo que se alimentam de compostos inorgânicos ou orgânicos. A vinhaça por possuir minerais e matéria orgânica, se torna um meio adequado de cultivo para as microalgas se diluído em meio de cultivo adequado (Candido & Lombardi, 2017).

As microalgas *Chorella vulgaris* são compostas por carotenóides, carboidratos, vitaminas, ácidos graxos insaturados e outras substâncias. Além disso, promovem a fixação de CO₂ através da fotossíntese. Contudo, a produção de microalgas gera altos custos e exige altos volumes de água e energia. Sendo assim, cultivá-las usando um resíduo líquido como complemento no meio de cultivo da cultura pode reduzir custos e economizar água. Como a vinhaça é líquida e rica em nutrientes, seu uso como substrato para o crescimento de microalgas pode ser um meio de reduzir o potencial eutrófico do resíduo, diminuindo os custos na produção de microalgas (Santana, et al., 2017).

O objetivo desse trabalho foi tratar a vinhaça proveniente de uma usina sucroalcooleira com a utilização de microalgas *Chlorella vulgaris*, visando reduzir alguns nutrientes presentes, principalmente o potássio, a fim de garantir um melhor reaproveitamento da vinhaça na fertirrigação dos canaviais.

2. Metodologia

A coleta do efluente foi realizada em uma usina produtora de açúcar e álcool situada no interior do estado de São Paulo. O efluente foi coletado no tanque resfriado (Figura 1) em recipiente adequado e foi armazenado sob refrigeração.

Figura 1. Local da coleta da vinhaça.



Fonte: Autores.

A cepa de microalga *Chlorella vulgaris* foi fornecida pelo Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo (IOUSP[®]). Para o cultivo da microalga utilizou-se o meio de cultivo Bold Basal Media (BBM), a partir das soluções descritas na Tabela 1.

Tabela 1. Composição das soluções estoque.

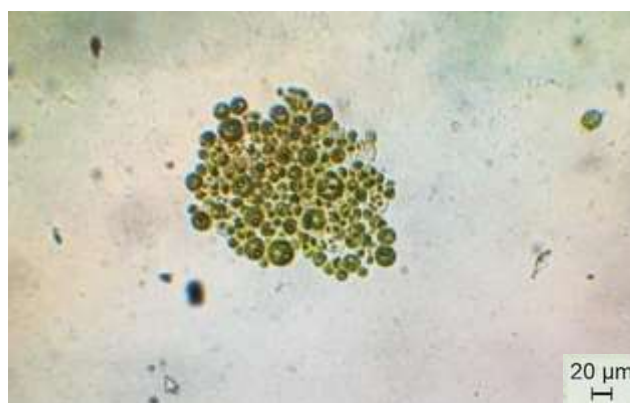
Ordem	Composição	Concentração
Solução 1	NaNO ₃	25 g/L
Solução 2	MgSO ₄ .7H ₂ O	7,5 g/L
Solução 3	NaCl	2,5 g/L
Solução 4	K ₂ HPO ₄	7,5 g/L
Solução 5	KH ₂ PO ₄	17,5 g/L
Solução 6	CaCl ₂ .2H ₂ O	2,5 g/L
Solução 7	ZnSO ₄ .7H ₂ O	8,82 g/L
Solução 8	MnCl ₂ .4H ₂ O	1,44 g/L
Solução 9	CuSO ₄ .5H ₂ O	1,57 g/L
Solução 10	CoCl ₂ .6H ₂ O	0,4 g/L
Solução 11	Na ₂ MoO ₄ .2H ₂ O	2,30 g/L
Solução 12	H ₃ BO ₃	11,42 g/L
Solução 13	EDTA	50 g/L + KOH = 31 g/L
Solução 14	FeSO ₄ .6H ₂ O	4,80 g/L + 1 mL de H ₂ SO ₄

Fonte: Autores.

A solução nutritiva foi preparada adicionando 5,0 mL das soluções 1-6 e 0,5 mL das soluções de 7-14, com volume final de 500 mL.

A fim de realizar uma contagem empírica de células e a movimentação e atividade dos microrganismos foi feita uma análise visual a partir do microscópio óptico (Microscópio Biológico Binocular BTM-02-B), (Figura 2).

Figura 2. Microalgas *Chlorella vulgaris* por visão de microscópica.



Fonte: Autores.

Minimizou-se o estresse dos microrganismos antes de manipulá-los. Para isso, transferiu-se a cepa recebida para um erlenmeyer recoberto com algodão para evitar contaminações. O mesmo foi levado à incubadora refrigerada permanecendo a 20 °C com fotoperíodo de 12 horas. Após 24 horas de adaptação dos microrganismos, realizou-se a primeira multiplicação das cepas. Para tal atividade, utilizou-se uma proporção de 75 mL de solução nutritiva e 25 mL da solução concentrada de microalgas. Pode-se observar, na Figura 3a, pela tonalidade das colorações que a replicação inicial apresentou baixa atividade das microalgas. Após 4 dias de inoculação do meio de replicação, houve um aumento significativo da atividade (Figura 3b).

Figura 3. Período de adaptação das microalgas: (a) 24h e (b) 4 dias de inoculação.



Fonte: Autores.

Após os 4 dias de inoculação, foram realizados três tratamentos (T1, T2 e T3) com proporções diferentes de vinhaça e solução nutritiva com microalgas de acordo com a Tabela 2. A escolha dessas proporções se deu após vários experimentos e também seguindo trabalhos na literatura que relatam que o cultivo das microalgas é possível em concentrações de até 40% de vinhaça (Ramirez, et al, 2014). Cada tratamento foi realizado durante 24 horas de repouso na incubadora refrigerada a 20 °C com fotoperíodo de 12 horas.

Tabela 2. Tratamentos aplicados para a remoção de nutrientes da vinhaça.

Tratamentos	Solução nutritiva com microalgas (mL)	Vinhaça (mL)
T1	90	10
T2	70	30
T3	60	40

Fonte: Autores.

As análises foram realizadas antes e depois dos tratamentos. As medidas de pH, condutividade elétrica (CE), sólidos totais dissolvidos (STD) e oxigênio dissolvido (OD) foram realizadas por meio de um Analisador Multiparâmetro SENSORIRECT 150, Lovibond Water Testing, usando um eletrodo para medidas de pH, um eletrodo para medidas de CE e STD e um eletrodo para medidas de OD. Todos os eletrodos foram calibrados previamente e a temperatura foi mantida constante em 25 °C durante as análises.

Sódio e potássio foram analisados em fotômetro de chama pelos métodos 3500-Na B e 3500-K B, respectivamente (APHA, 2012). A análise de cálcio foi realizada pelo método gravimétrico, utilizando ácido oxálico 1,0 mol/L com calcinação a 900 °C durante 2 horas.

3. Resultados e Discussão

A Tabela 3 mostra resultados obtidos para as análises físico-químicas antes e após os tratamentos realizados:

Tabela 3. Análises físico-químicas da vinhaça antes após os tratamentos.

Tratamentos	pH	CE (mS/cm)	STD (mg/L)	OD (mg/L)
Sem tratamento	3,8	6,7	447,0	7,0
T1	4,1	5,5	422,0	7,8
T2	4,1	2,8	182,0	7,6
T3	4,0	3,5	235,0	7,7

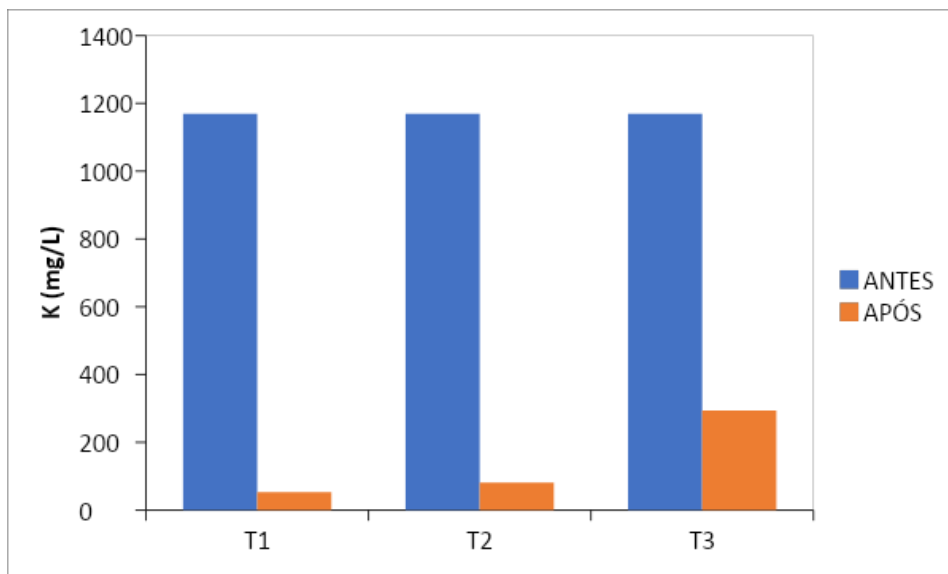
Fonte: Autores.

Um fator que indica se a microalga presente na solução está em atividade é analisar o pH da solução e comparar com o inicial, pois quando estas estão consumindo os nutrientes e proliferando-se no meio a tendência é que o pH aumente devido a adaptação para melhor desenvolvimento da cultura. Quando comparamos as diluições realizadas, notamos que as soluções que continham a presença da microalga apresentaram um ligeiro aumento do pH, comprovando-se assim que realmente ela estava consumindo os nutrientes presentes no meio.

Houve um aumento discreto no OD e uma diminuição nos valores de CE e de STD, indicando novamente que as microalgas presentes na solução estão em atividade, consumindo os nutrientes e proliferando-se.

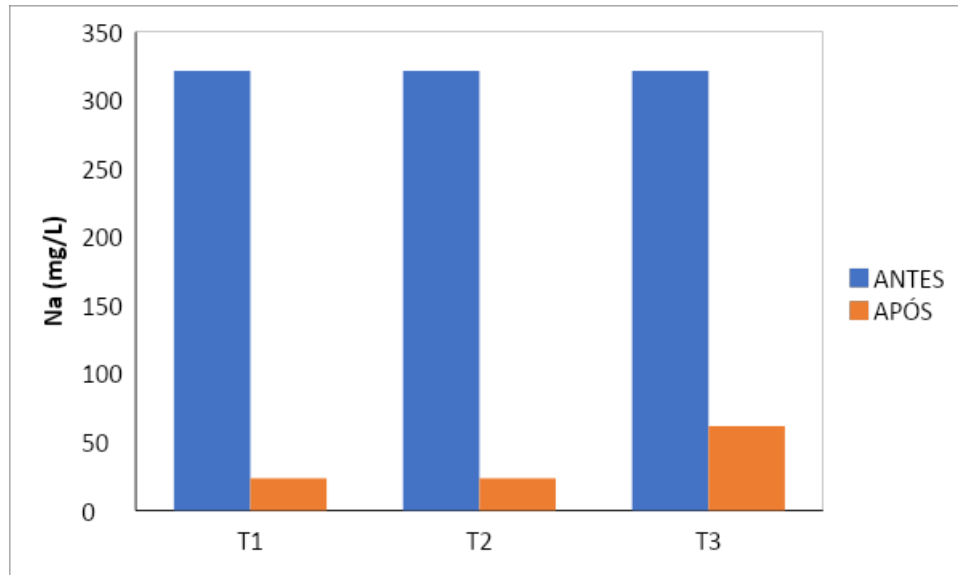
O maior interesse concentra-se na diminuição dos nutrientes da vinhaça, principalmente do potássio. As Figuras 4-6 mostram os resultados obtidos nas análises de potássio, sódio e cálcio, respectivamente.

Figura 4. Concentrações de potássio na vinhaça antes e após os tratamentos com microalgas. T1: 90 mL da solução nutritiva com microalgas + 10 mL de vinhaça; T2: 70 mL da solução nutritiva com microalgas + 30 mL de vinhaça; T3: 60 mL da solução nutritiva com microalgas + 40 mL de vinhaça.



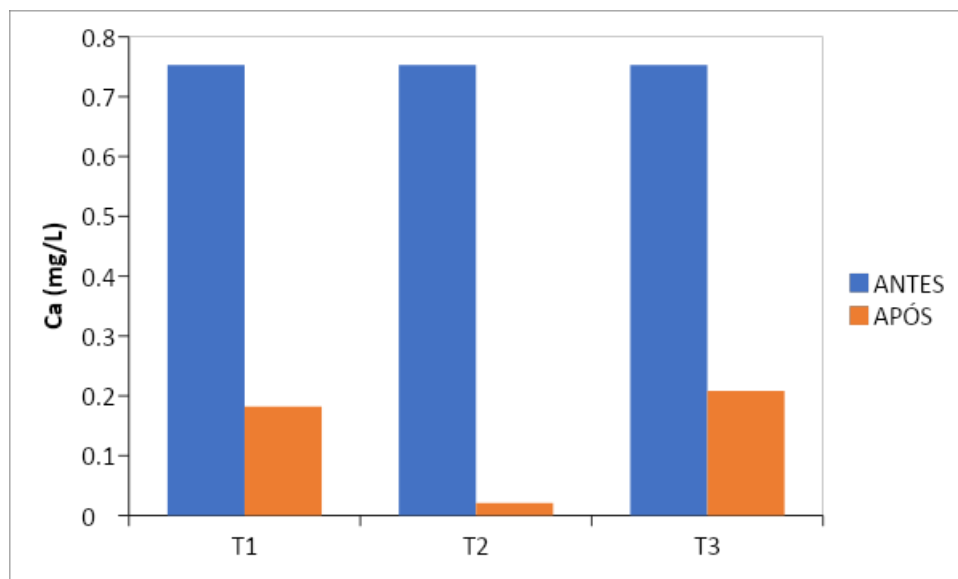
Fonte: Autores.

Figura 5. Concentrações de sódio na vinhaça antes e após os tratamentos com microalgas. T1: 90 mL da solução nutritiva com microalgas + 10 mL de vinhaça; T2: 70 mL da solução nutritiva com microalgas + 30 mL de vinhaça; T3: 60 mL da solução nutritiva com microalgas + 40 mL de vinhaça.



Fonte: Autores.

Figura 6. Concentrações de cálcio na vinhaça antes e após os tratamentos com microalgas. T1: 90 mL da solução nutritiva com microalgas + 10 mL de vinhaça; T2: 70 mL da solução nutritiva com microalgas + 30 mL de vinhaça; T3: 60 mL da solução nutritiva com microalgas + 40 mL de vinhaça.



Fonte: Autores.

Considerando-se a alta complexidade dos nutrientes sódio e potássio para o tratamento da vinhaça, percebe-se que os tratamentos T1(90:10) e T2(70:30) foram altamente eficientes na redução dos nutrientes em comparação com o efluente bruto (Figuras 4 e 5). Sendo que para o potássio pode-se destacar que o T1(90:10) foi o melhor tratamento, indicando que a coloração das soluções pode ter uma estreita relação com o desenvolvimento dos microrganismos, dado que os mesmos necessitam de passagem de luz para completar os processos fotossintéticos.

Dentre os nutrientes utilizados no preparo da solução nutritiva, alguns possuem uma certa quantidade de cálcio, contudo essa quantidade é relativamente pequena, por isso quando adicionado a vinhaça a quantidade reduz, pois o que estava presente acaba sendo diluído. Entretanto, quando analisamos o tratamento T2(70:30), constatamos que houve uma grande redução, deixando evidente que foi consumido este elemento químico (Figura 6).

Na literatura há poucas referências sobre a remoção de sódio e potássio da vinhaça, sendo que os mesmos são os pontos cruciais nos critérios do plano de aplicação de vinhaça. Percebe-se que os resultados obtidos possibilitam a utilização de alternativas biológicas, que não prejudicam o meio ambiente e que são de alta disponibilidade e aplicabilidade à indústria, diminuindo os problemas de saturação anteriormente elencados. Existem outros métodos, como evaporação para produzir ração animal e incineração para recuperação de potássio, mas esses tratamentos exigem custos elevados (Navarro, et al., 2000; Santos, et al., 2013). Dada a importância do etanol para a economia nacional e as novas restrições ao uso da vinhaça, novas alternativas devem ser avaliadas e, nesse contexto, a biorremediação com microalgas é uma alternativa promissora.

As microalgas presentes na vinhaça final acabam morrendo ao longo do tempo ou quando entram em contato com o solo, por se tratar de microrganismos sua decomposição servirá como matéria orgânica para o solo, melhorando-se assim as características deste e mantendo a capacidade de troca catiônica nos níveis ideais.

4. Conclusões

A microalga *Chlorella vulgaris* é uma alternativa para realizar o tratamento da vinhaça, pois além de melhorar algumas características físico-químicas com os sólidos totais dissolvidos, reduz as concentrações dos nutrientes potássio, sódio e cálcio. Esta redução faz com que a vinhaça possua uma maior disponibilidade para ser utilizada como fertirrigação nos canais da própria empresa que, conseqüentemente, acaba reduzindo os gastos com a

compra de fertilizantes minerais, fechando assim um ciclo ecológico de produção e reutilização do próprio resíduo gerado.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo (IOUSP[®]) pelo fornecimento da cepa das microalgas *Chlorella vulgaris*.

Referências

APHA, AWWA, WEF. (2012) Standard Methods for examination of water and wastewater. (22a ed.), 1360 pp. Washington: American Public Health Association, Recuperado de <http://www.standardmethods.org/>

Batista, E. C., Oliveira, R. T. S., Ferreira, R. Q., Miwa, D., & Santos, M. C., (2011). Degradação eletroquímica da vinhaça usando eletrodo de diamante dopado com boro, *Química Nova [online]*, 34, 1517-1520. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422011000900007>

Braunbeck, O. A., & Neto, E. A. (2014). Transport logistics of raw material and waste of sugarcane, p.487-504. In Luis Augusto Barbosa Cortez (Coord.). Sugarcane bioethanol — R&D for Productivity and Sustainability, São Paulo: Editora Edgard Blücher. http://dx.doi.org/10.5151/BlucherOA-Sugarcane-SUGARCANEETHANOL_45

Candido, C. & Lombardi, A. T. (2017). Growth of *Chlorella Vulgaris* in treated conventional and biodigested vinasses, *Journal of Applied Phycology*, 29, 45-53. <https://doi.org/10.1007/s10811-016-0940-2>

CETESB (2016), Norma Técnica P4.231. *Vinhaça – Critérios e procedimentos para aplicação no solo agrícola*. São Paulo, Brasil, 12p. Recuperado de https://cetesb.sp.gov.br/camaras-ambientais/wp-content/uploads/sites/21/2013/12/P4_231.pdf

Christofoletti, C. A., Escher, J. P., Correia, J. E., Marinho, J. F. U., & Fontanetti, C. S. (2013). Sugarcane vinasse: environmental implications of its use, *Waste Management*, 33, 2752-2761. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2013.09.005>

Kessler, E. & Huss, V. A. R. (1992), Comparative physiology and biochemistry and taxonomic assignment of the *Chlorella* (Chlorophyceae) strains of the culture collection of the University of Texas at Austin1. *Journal of Phycology*, 28, 550-553. <https://doi.org/10.1111/j.0022-3646.1992.00550.x>

Monção, F. S., Sartori, M. L., Veloso, R. V. S., Pantoja, L. A., & Santos, A. S. (2018). Microalgas e biocombustíveis: integração de cadeias produtivas, *Revista Virtual de Química*, 10(4), 999-1017. Recuperado de <http://rvq-sub.s bq.org.br/index.php/rvq/article/view/2555>

Navarro, A. R., Sepúlveda, M. C., & Rubio, M. C. (2000) Bio-concentration of vinasse from the alcoholic fermentation of sugar cane molasses. *Waste Management*, 20(7), 581-585. [https://doi.org/10.1016/S0956-053X\(00\)00026-X](https://doi.org/10.1016/S0956-053X(00)00026-X)

Prado, R. M., Braghirolli, L., F., Natale, W., Corrêa, M. C. M., & Prado, E. V. A. (2004). Aplicação de potássio no estado nutricional e na produção de matéria seca de mudas de maracujazeiro-amarelo, *Revista Brasileira de Fruticultura*, 26, 295-299. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452004000200028>

Ramirez, N. N. V., Farenzena, M., & Trierweiler, J. O. (2014). Growth of microalgae *Scenedesmus* sp in ethanol vinasse. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 57(5), 630-635. <https://doi.org/10.1590/S1516-8913201401791>

Rodrigues, J. dos S., Silva, P. C., Costa, A. R., Gomes, L. F., Silva, F. de F., Soares, J. A. B., & Ferreira, J. B. G. (2020). Sugarcane productivity with waste water application from the sucroenergetic industry. *Research, Society and Development*, 9(5), e162953167. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i5.3167>

Santana, H., Cereijo, C. R., Teles, V. C., Nascimento, R. C., Fernandes, M. S., Brunale, P., Campanha, R. C., Soares, I. P., Silva, F. C. P., Sabaini, P. S., Siqueira, F. G., & Brasil, B. S. A. F. (2017). Microalgae cultivation in sugarcane vinasse: selection, growth and biochemical characterization, *Bioresource Technology*, 228, 133-140. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.12.075>

Santos, J. D., Silva A. L. L., Costa, J. L., Scheidt, G. N., Novak, A. C., Sydney, E. B., & Soccol, C. R. (2013). Development of a vinasse nutritive solution for hydroponics. *Journal of Environmental Management*, 114, 8-12. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.10.045>

Santos, T. M. C., Santos, M. C., Santos, M. A. L., Santos, C. G., Santos, V. R., & Pacheco, D.S. (2009). Efeito da fertirrigação com vinhaça nos microrganismos do solo, *Revista Caatinga*, 22, 155-160. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/2371/237117625021.pdf>

Silva, M. A. S., Griebeler, N. P., & Borges, L. C. (2007). Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático, *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 11, 108-114. Recuperado de <https://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v11n1/v11n1a14>

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Juliane C. Forti – 30%

Maria Gabriela D. B. Lanza – 20%

Matheus S. Ferreira – 20%

Rafael R. de Souza – 10%

Raul A. M. Uribe – 10%

Felipe A. dos Santos – 10%