

RECUPERAÇÃO E APROVEITAMENTO DA ÁGUA PROVENIENTE DA BIODIGESTÃO DA VINHAÇA EM PROCESSOS INDUSTRIAIS

RECOVERY AND USE OF WATER FROM THE VINASSE BIODIGESTION IN INDUSTRIAL PROCESSE

RECUPERACIÓN Y APROVECHAMIENTO DEL ÁGUA PROCEDENTE DE LA BIODIGESTIÓN DE LA VIÑA EN PROCESOS INDUSTRIALE

Eduardo de Castro Mattos¹

Ricardo Fleury Sunhiga Filho²

Rubens Perez Calegari³

Antonio Sampaio Baptista⁴

Resumo: Avaliou-se o tratamento físico-químico da vinhaça biodigerida e possível reuso na cadeia produtiva de cana-de-açúcar. Elaborou-se 2 tratamentos: Filtração seguida de floculação (T1) e, centrifugação seguida de filtração e floculação (T2). Avaliou-se turbidez, condutividade elétrica e pH. T1 removeu 88,3% da turbidez e T2 removeu 93,4%. Não houve mudança na condutividade elétrica em ambos tratamentos. T2 foi mais eficiente, gerando um produto com baixa turbidez e de possível reuso na indústria.

Palavras-chave: Floculação. Centrifugação. Tratamento físico-químico de efluente. Remoção de turbidez.

Abstract: It was evaluated the physico-chemical treatment of biodigested vinasse and possible reuse in the productive chain of sugarcane. 2 treatments were performed: Filtration followed by flocculation (T1) and centrifugation followed by filtration and flocculation (T2). Turbidity, electrical conductivity and pH were evaluated. T1 removed 88.3% of the turbidity and T2 removed 93.4%. There was no change in electrical conductivity. T2 was more efficient, generating a product with low turbidity and possible reuse in industry.

Keywords: Flocculation. Centrifugation. Physical chemical treatment of efluente. Turbidity remotion.

Resumen: Se evaluó el tratamiento físico-químico de la vinaza biodigerida y posible reuso en la cadena productiva de caña de azúcar. Se elaboró 2 tratamientos: Filtración seguida de floculación (T1) y, centrifugación seguida de filtración y floculación (T2). Se evaluó turbidez, conductividad eléctrica y pH. T1 eliminó el 88,3% de la turbidez y T2 eliminó el 93,4%. No hubo cambios en la conductividad eléctrica en ambos tratamientos. T2 fue más eficiente, generando un producto con baja turbidez y de posible reuso en la industria

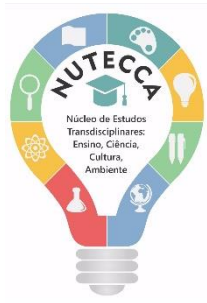
Palabras-clave: Floculación. Centrifugación. Tratamiento físico-químico de efluente. Eliminación de turbidez.

¹ Graduando em Engenharia Agrônômica. ESALQ-USP. eduardo.castro.mattos@usp.br

² Graduando em Engenharia Agrônômica. ESALQ-USP. ricardofsunhigaf@usp.br

³ Doutorando em Ciências. CENA-USP. rubenscalegari@usp.br

⁴ Professor Doutor. ESALQ-USP. asbaptis@usp.br



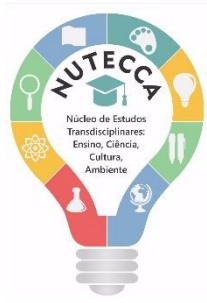
Introdução

Nos últimos anos a preocupação com as ações antrópicas sobre as alterações climáticas vem sendo pauta de discussão, principalmente no tocante à produção de energia. Dentre os recursos naturais capazes de fornecer energia para abastecer os países, pode-se citar como principal fonte geradora de energia o petróleo. Porém, a era do petróleo pode estar chegando ao fim devido ao seu impacto ambiental agressivo quando esse é queimado como combustível, gerando os chamados GEEs (Gases do Efeito Estufa) e, portanto, alguns estudos já indicam que o mundo passará por mudanças que trará nas linhas de frente das pesquisas novos atores para a cena da geopolítica mundial de energia (FONTE?).

O setor de combustíveis é o setor que será mais afetado por tal preocupação ambiental mundial dentro do cenário energético. Nesse sentido, a produção de etanol ganha destaque principalmente pela possibilidade de uso como fonte alternativa e renovável como biocombustível e além disso, vem atraindo o mundo por conta dessa procura de recursos energéticos não renováveis e capaz de suportar a variabilidade ao preço do petróleo e do gás natural (Pant e Adholeya, 2007).

Tendo em vista a importância de fontes renováveis, a cana-de-açúcar ganhou importância econômica como principal matéria-prima para a produção de etanol, o qual vem sendo utilizado em grande volume para substituição aos combustíveis fósseis, derivados do petróleo. (Torres et al., 2012). O setor sucroenergético no Brasil corresponde a um dos principais setores produtivos do país, tendo forte impacto do ponto de vista social, ambiental e econômico para o país (ÚNICA, 2017).

As usinas de processamento de cana-de-açúcar para a produção de etanol consomem grande quantidade de água em toda sua cadeia produtiva, desde a chegada da matéria-prima no processo de limpeza, até a diluição do mosto para o processo fermentativo, sendo que o reaproveitamento desta água utilizada dentro da indústria é de suma importância. Os processos produtivos da indústria sucroenergética possuem alto potencial de impactos sócio-econômicos e ambientais. Com as novas leis e reconsideração quanto ao sistema de produção



ambientalmente sustentável, a indústria sucroenergética vem adotando inovações quanto ao gerenciamento de resíduos industriais (Rebelato et al., 2015).

Quanto o processo industrial, as usinas de açúcar e etanol geram altas quantidades de resíduos e subprodutos, derivados de processos anteriores para transformação do produto principal, sendo que a quantidade de produto está diretamente relacionada com a quantidade de resíduo/subproduto gerado, ou seja, quanto maior a quantidade produzida, maior será a geração desses resíduos (Lunas e Lustosa, 2015). Tendo em vista essa preocupação ambiental, é necessário considerar dentro do processo industrial a redução na captação e utilização da água.

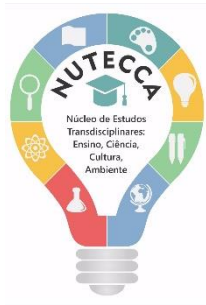
Dessa forma, esses objetivos podem se concretizar realizando-se o tratamento e recuperação das águas residuais, como a vinhaça, onde a água pode ser recuperada através de tratamento físico-químico sendo possível retornar ao processo industrial (Ingaramo et al., 2009).

Uma das possíveis utilizações da vinhaça dentro da cadeia sucroenergética é a sua utilização em reatores de metanogênese para a produção de biogás através do processo de biodigestão anaeróbia, sendo uma das formas de conversão alternativa de biomassa em energia, destaca-se a biodigestão anaeróbia de resíduos sejam eles, agroindustriais ou domésticos, o que permite sua utilização sob a forma de metano (biogás) (Pompermeyer e Paula Júnior, 2000).

A produção de metano é apenas uma das vantagens desse sistema de aproveitamento e cogeração de energia a partir de resíduos agroindustriais, cuja finalidade principal é o tratamento de efluentes (Estimativa do potencial brasileiro de produção de biogás através da biodigestão da vinhaça e comparação com outros energéticos), pois reduz de 80 a 90% da DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) e a energia bioquímica recuperada é em torno de 85 a 90% como biogás (Pant; Adholeya, 2007). Porém, ainda é incerto o destino do efluente (vinhaça biodigerida) desse processo.

Dessa forma, a vinhaça biodigerida por conter entre 90-95% de água, esta passaria por técnicas físico-químicas, para que seja possível a sua recuperação em grandes volumes e alta qualidade (Bochenek; Sitarz; Santos, 2011).

Portanto, em busca de melhores alternativas para uma produção dentro da cadeia sucroenergética sustentável e economicamente viável, este projeto visa adequar um melhor método para recuperação da água presente na vinhaça biodigerida e consequente utilização



dentro da unidade industrial, afim de tornar a produção do produto final (açúcar e álcool) mais rentável e reduzir o potencial poluidor de seus resíduos gerados.

Dessa forma, o presente trabalho teve como objetivo, a realização de tratamentos necessários afim de avaliar qual deles possui uma eficiência melhor para o tratamento da vinhaça biodigerida para recuperação da água nela contida para possível utilização em processos agroindustriais de produção de etanol.

Material e Métodos

Instalação Experimental

O estudo foi realizado no setor de açúcar e álcool, do Departamento de Agroindústria, Alimentos e Nutrição, da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo.

Material

O material utilizado para os testes de tratamento e recuperação de água foi a vinhaça biodigerida obtida de reatores do tipo UASB, do Departamento de Agroindústria, Alimentos e Nutrição, da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo, sendo a vinhaça submetida à biodigestão coletada da Usina São Martinho.

Procedimento Experimental

O procedimento experimental consistiu na submissão da vinhaça biodigerida a dois tratamentos. O tratamento 1 (T1) consistiu em tratamento da vinhaça biodigerida utilizando inicialmente algodão como filtro inicial seguido de clarificação, utilizando como agente floculante sulfato de alumínio na concentração 200mgL^{-1} sob temperaturas de 70 e 80 °C. O tratamento 2 (T2) consistiu no tratamento da vinhaça biodigerida utilizando sistema de centrifugação à rotação de 4000 RPM, por 10 minutos, à 10°C, subsequente filtração em filtro de algodão, seguido de clarificação com adição de sulfato de alumínio na concentração de 200mgL^{-1} sob temperaturas entre 70 e 80 °C.

O procedimento experimental está descrito no fluxograma a seguir (Figura 1).

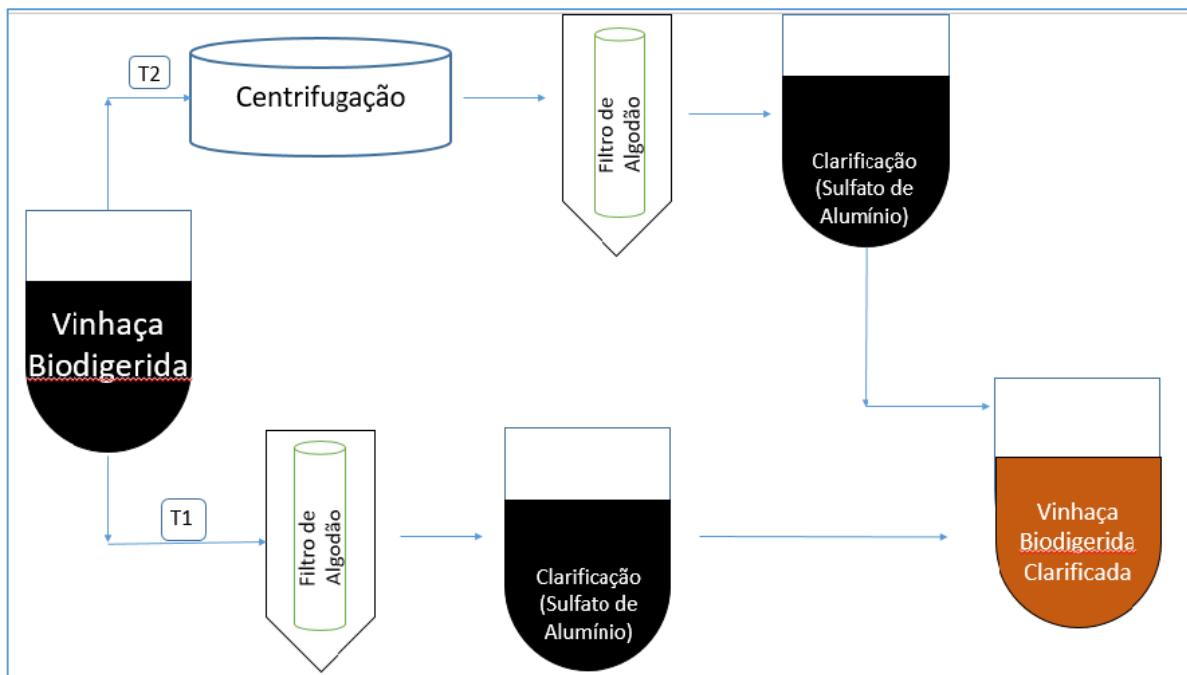


Figura 1. Fluxograma das etapas do processo de tratamento físico-químico da vinhaça

Esperou-se 24h até a completa decantação dos sólidos, na sequência o sobrenadante foi sifonado e avaliado quanto aos parâmetros de turbidez, pH e condutividade. Já no tratamento 2 (T2), a vinhaça biodigerida passou pelo processo de centrifugação à 4000 RPM, à 10°C por 10 minutos, na sequência, a vinhaça biodigerida passou pela filtragem utilizando fibra de algodão, seguindo a mesma sequência de etapas de recuperação da água que no tratamento 1.

Para cada etapa foram avaliados os seguintes parâmetros: pH, condutividade e turbidez, de acordo com APHA, AWWA e WEF (2012).

Resultados e Discussão

Na Tabela 1 e encontra-se todos os resultados dos parâmetros: pH, condutividade, turbidez.

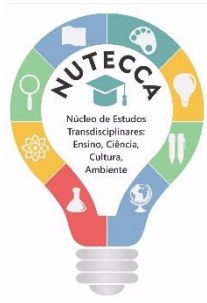


Tabela 1. pH, condutividade e turbidez da vinhaça

	Turbidez (NTU)		Condutividade ($\mu\text{S/cm}$)		pH	
	T1	T2	T1	T2	T1	T2
VB	503(222,33)	503(194,78)	37398(605,6)	37398(3533,2)	8,66 (0,35)	8,66(0,36)
Centrifugado	503(222,33)	339(194,78)	37398(605,6)	37095(3533,2)	8,61(0,35)	8,61(0,36)
Filtrado	505(222,33)	294(194,78)	36612(605,6)	37797(3533,2)	8,61(0,35)	8,7(0,36)
Clarificado	59(222,33)	33(194,78)	38094(605,6)	30387(3533,2)	9,33(0,35)	9,38(0,36)

VB: vinhaça biodigerida; (): Desvio Padrão

A vinhaça biodigerida gerada pelos reatores apresentou valor de pH próximo aos descritos na literatura, em que para processos de biodigestão o pH varia entre 6 a 8 (Cremonez et al., 2013).

A turbidez da vinhaça biodigerida apresentou 503 NTU, valor este inferior ao encontrado nos estudos de Guerreiro et al. (2016) e Rodrigues et al. (2017), que apresentou 2.190 NTU, sendo que a baixa turbidez pode indicar baixa concentração de compostos orgânicos (Ortegon et al., 2016), dessa forma, tornando mais fácil o processo de tratamento físico-químico.

Apesar de apresentar baixa turbidez, a vinhaça biodigerida apresentou elevada condutividade elétrica (37.398 uS/cm). Esta condutividade elevada está associada à alta concentração de sais presentes no efluente.

A condutividade elétrica foi considerada elevada, 37.398 $\mu\text{S/cm}$, pois no trabalho de Martins B.C. (2017) a vinhaça biodigerida apresentava condutividade de 19.559 $\mu\text{S/cm}$, valor elevado (Ortegon et al., 2016). Os valores obtidos estão representados na tabela 1.

Em relação a condutividade elétrica, não houve diferença considerável na prática até a última etapa, como apresentando na Tabela 1 e na Figura 2. Ao final da etapa do Tratamento 2 reduziu-se a condutividade de 37.398uS/cm para 30.387uS/cm, ou seja, reduziu-se 18,74%, já no Tratamento 1, não houve redução de condutividade.

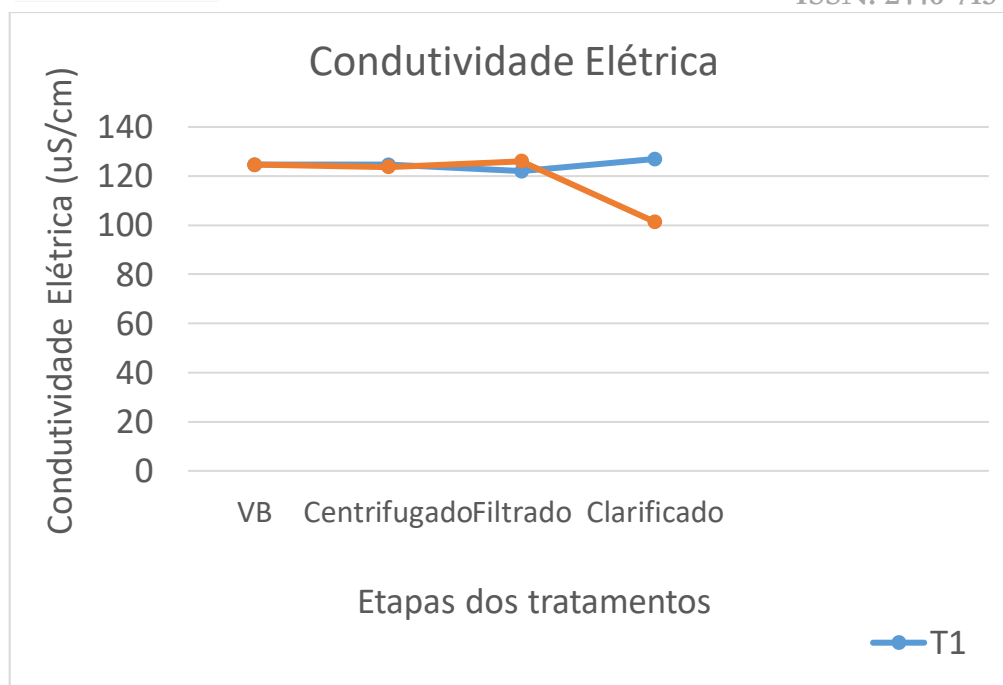
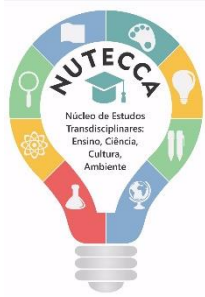
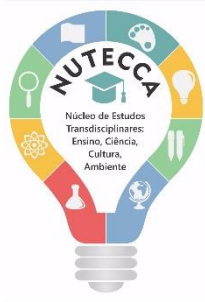


Figura 2. Gráfico da condutividade elétrica

A condutividade está intimamente ligada à concentração de substâncias que se dissociam em cátions e ânions, portanto, essa baixa redução quanto a condutividade se deve ao fato que os tratamentos atribuídos à vinhaça não foram capazes de reter esses íons (Funasa, 2014).

Tal característica é de suma importância para definição de utilização da água recuperada, pois caso essa água seja utilizada para diluição de mosto para o processo de fermentação alcoólica, as altas concentrações dos íons presentes na água podem reduzir a eficiência e o rendimento fermentativo, podendo ocasionar estresse osmótico às leveduras e, conseqüentemente, provocar redução na produtividade (Martins, 2017). Além disso, levando em consideração o reciclo durante o processo de fermentação, a concentração de leveduras no decorrer dos ciclos fermentativos diminui, o que contribui para um maior tempo de fermentação (Martins, 2017).

Portanto, para melhor redução dos teores desses íons, faz-se necessário um tratamento adicional, como a osmose reversa. A membrana de osmose reversa age como uma barreira a todos os sais e moléculas inorgânicas dissolvidas, como também moléculas orgânicas com um



peso molecular maior que 100 g/mol. No processo de osmose reversa, a remoção de sais dissolvidos pode chegar a 99% (Fluid Brasil, 2009).

No que se refere ao pH do efluente, antes do processo físico-químico o mesmo foi de 8.66, sendo que após o processo de separação do sobrenadante, este apresentou um aumento para 9,33 no T1 e 9,38 no T2. O que está de acordo com o descrito por Amaral e Santos (2017) em seus estudos com tratamento de efluentes da indústria alimentícia, em que observaram aumento no pH após a adição de sulfato de alumínio como agente coagulante e redução na turbidez.

A Figura 3 representa o comportamento quanto ao pH ao longo dos tratamentos.

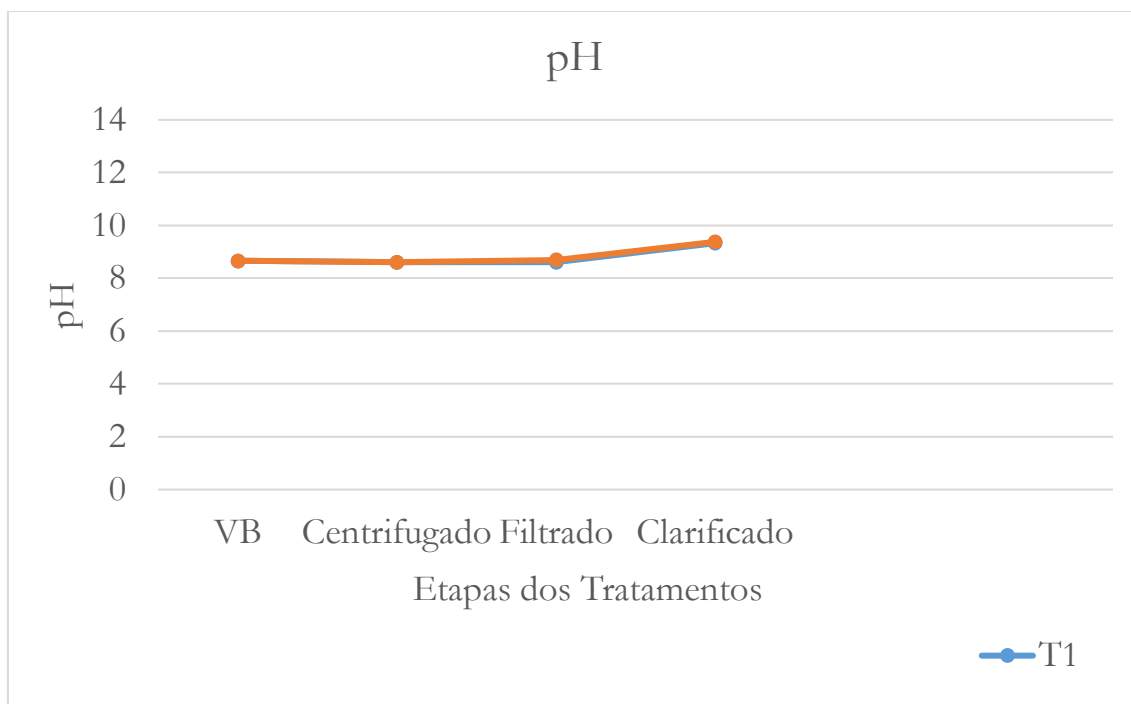


Figura 3. Comportamento quanto ao pH da vinhaça biodigerida ao longo das etapas dos processos de tratamento

Quanto à turbidez, verificou-se uma redução de 503 NTU para 59 NTU (remoção de 88,3%) em T1 e de 503 NTU para 33 NTU (remoção de 93,4%) em T2 (Figura 4).

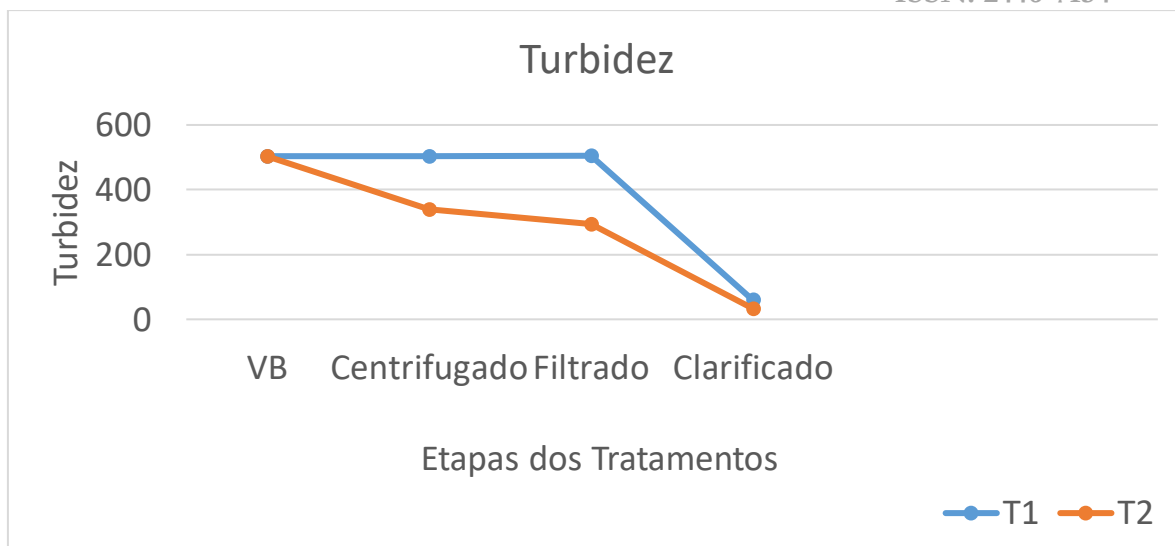


Figura 4. Comportamento quanto à redução da turbidez em ambos os tratamentos

A turbidez de uma água é a capacidade com que esta possui para atenuar a intensidade de feixes de luzes ocasionados por material coloidal orgânico, ou seja, quanto maior o teor de material orgânico, maior o grau de atenuação da intensidade luminosa e, portanto, maior sua turbidez (CETESB, 2009).

Ao reduzir para valores encontrados no estudo, para 59 NTU em T1 e 33 NTU em T2, pode-se inferir que os tratamentos físicos-químicos que a vinhaça biodigerida foi submetida foram eficazes quanto à retenção e redução desse material orgânico, o que facilitaria a continuação do tratamento e recuperação da água em sistemas de filtração para utilização destas dentro da cadeia sucroenergética, em etapas da produção que são sensíveis a esse material coloidal.

Apesar da baixa turbidez, o efluente recuperado apresentou alta condutividade, o que torna inviável o uso dessa água recuperada em etapas mais refinadas na indústria, como a diluição do mosto para a fermentação alcoólica.

Entretanto, a água recuperada pode ser utilizada em outras etapas do processo industrial que não exigem um grau de qualidade elevado, como o uso na limpeza da matéria-prima (cana-de-açúcar) durante a etapa de recepção na unidade industrial, onde são usados grandes volumes de água por tonelada de cana que será processada.



Além disso, a etapa de clarificação mostrou-se eficiente reduzindo de forma considerável turbidez da água e, pensando em manutenção de sistemas de filtração, pode-se aumentar a vida útil dos filtros, visto que as partículas maiores foram retidas com alta eficiência antes da etapa de filtração. No entanto, são necessários estudos utilizando um sistema de filtração contendo filtros com porosidades diferentes e osmose reversa na sequência, afim de reduzir a concentração de cátions e ânions, aumentando o nicho pra utilização dessa água recuperada, sendo possível a sua utilização desde a limpeza da matéria-prima na recepção até a diluição do mosto para fermentação alcoólica sem alteração na produtividade e rendimento de fermentação.

Faz-se necessário também estudos de viabilidade econômica da implantação dos sistemas e métodos de recuperação da água proveniente da vinhaça biodigerida em usina de processamento de cana-de-açúcar para a produção de açúcar e etanol.

Conclusões

O tratamento da vinhaça biodigerida, a fim de recuperar a água que nela contém para utilização em outros processos industriais que demandam altos volumes de água foi possível com a utilização da combinação de processos físicos (filtração e centrifugação) antecedendo a etapa de processo químico, que consiste na utilização de agente coagulante/floculante.

A adição desses processos físicos de tratamento promoveu a otimização da etapa seguinte de floculação e coagulação.

Referências

AMARAL, L. O.; SANTOS, S. S. A. Diretrizes para o tratamento de efluentes oriundos de uma indústria alimentícia. **Revista Científico**. v. 17, n. 36, p. 9-30, 2017.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION; WATER ENVIRONMENT FEDERATION – APHA; AWWA; WEF. (2012). Standard methods for the examination of water and wastewater. 22a ed., Washington: American Public Health Association, 2012. 1935 p.

BOCHENEK, R.; SITARZ, R.; ANTOS, D. Design of continuous ion exchange process for the wastewater treatment. **Chemical Engineering Science**, v. 66, n. 23, p. 6209–6219, 2011.



Revista Hipótese

ISSN: 2446-7154

CREMONEZ, P. A.; FEIDEN, A.; ZENATTI, D. C.; CAMARGO, M. P.; NADALETI, W. C.; ROSSI, E.; ANTONIELLI, J. Biodigestão anaeróbia no tratamento de resíduos lignocelulósicos. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 2, p. 21–35, 2013.

568

FARIAS, F. A. Avaliação da eficiência de diferentes agentes coagulantes na remoção de cor e turbidez em efluente de fábrica de celulose não branqueada. **Caderno Meio Ambiente e Sustentabilidade**, v.15, n.3, p.86-104, 2014.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS/Ministério da Saúde**, Fundação Nacional de Saúde. – Brasília: Funasa, 112 p., 2014.

GUERREIRO, L. F. RODRIGUES, C. D.; DUDA, R. M.; OLIVEIRA, R. A.; BOAVENTURA, R. A. R.; MADEIRA, L. M. Treatment of sugarcane vinasse by combination of coagulation/ flocculation and Fenton's oxidation. **Journal of Environmental Management**, v. 181, p. 237–248. 2016.

INGARAMO, A.; HELUANE, H.; COLOMBO, M. CESCA, M. Water and wastewater eco-efficiency indicators for the sugar cane industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 17, n. 4, p. 487–495, 2009.

LUNAS, A.L.; LUSTOSA, P.R.B. Benefício econômico do bagaço da cana-de-açúcar. Um estudo no setor sucroenergético do Sudoeste goiano. *Custo e @gronegocio on line*, v.11, n. 2, p. 342-369, 2015

MARTINS, B. C. **Recuperação e Tratamento de água proveniente de vinhaça biodigerida e sua utilização em processos de produção de bioenergia**. 2017. 78p. Mestrado (Microbiologia Agrícola) Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2017.

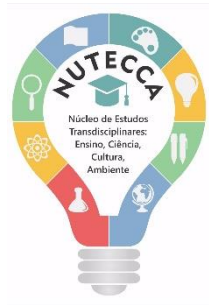
ORTEGÓN, G. P.; ARBOLEDA, F. M.; CANDELA, L.; TAMOH, K.; VALDES-ABELLAN, J. Vinasse application to sugar cane fields. Effect on the unsaturated zone and groundwater at Valle del Cauca (Colombia). **Science of the Total Environment**, v. 539, p. 410–419, 2016.

PANT, D.; ADHOLEYA, A. Biological approaches for treatment of distillery wastewater: A review. *Bioresource Technology*, v. 98, n. 12, p. 2321-2334, 2007.

POMPERMAYER, R. S.; PAULA JUNIOR, D. R. Estimativa do potencial brasileiro de produção de biogás através da biodigestão da vinhaça e comparação com outros energéticos. In **Anais do 3º Encontro de Energia no Meio Rural**, 2000, Campinas (SP, Brazil) [online]. 2003. Acesso em 21 mar. 2018. Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC000000022000000200055&lng=en&nrm=iso> .

REBELATO, M.G.; RODRIGUES, A.M.; MADALENO, L. L. Environmental Performance Assessment of Industrial Processes in Sugar Power Plants: A Proposed Methodological Framework. *Modern Environmental Science and Engineering* 2015. P. 53-63.

RODRIGUES, C. S. D.; NETO, A. R.; DUDA, R. M.; OLIVEIRA, R. A.; BOAVENTURA, R. A. R.; MADEIRA, L. M. Combination of chemical coagulation, photo-Fenton oxidation and biodegradation



Revista Hipótese



ISSN: 2446-7154

for the treatment of vinasse from sugar cane ethanol distillery. **Journal of Cleaner Production**, v. 142, p. 3634–3644, 2017.

569

TORRES, N. H.; SARTORI, S. B.; HELOISA, J.; AMÉRICO, P.; ROMANHOLO, F.; Indústria Sucroalcooleira: Gestão de Subprodutos. *Revista de Ciências Agro-Ambientais*, v. 10, n. 2, p. 225–236, 2012.

ÚNIAO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR. Moagem de cana-de-açúcar e produção de açúcar e etanol – safra 2016/2017. 2017. Disponível em: <<http://www.unicadata.com.br>>. Acesso em: 20 nov. 2017.