

REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:
Investigación, desarrollo y práctica.

PROPOSIÇÃO DE REUSO DA ÁGUA RESIDUÁRIA DE UMA USINA SUCROALCOOLEIRA SITUADA NO INTERIOR DE SÃO PAULO

* Aline Angélica Miguel¹
Cristina F. P. Rosa Paschoalato¹
Luciano Farias de Novaes¹

PROPOSITION OF REUSE OF RESIDUE WATER FROM A SUGAR-ALCOHOL PLANT SITUATED IN THE INTERIOR OF SÃO PAULO

Recibido el 19 de febrero de 2019; Aceptado el 28 de octubre de 2019

Abstract

The objective of this work was to evaluate the possibility of reuse of wastewater from a sugar and ethanol plant in the interior of the State of São Paulo in the various sectors within the plant. With the five-month sampling period on random days, it was possible to observe a large variability of the organic load concentration in terms of COD ranging from 2396.2 to 101292.4 kg / day. In the composite sampling, the COD / COD ratio of 75% was obtained, representing that 75% of the COD was in the dissolved form and 25% in the suspended form. The BOD of 1460 mg.L⁻¹ compared to 2.306 mg.L⁻¹ of COD filtered represented the filtered BOD / COD ratio of 63% indicating that the 63% dissolved material is biodegradable. After the studies carried out in the wastewater generated at the plant, two treatments were proposed, being a physicochemical only for uses in which the amount of organic matter does not influence and for more demanding uses a physical-chemical treatment followed by an anaerobic biological treatment UASB and following an aerobic treatment in activated sludge reactors. The proposed points for the reutilization of treated waste water were the imbibition of sugarcane in the mill, in the metal conveyor of the mill, in the soaking of the vacuum filters, in the cleaning of the evaporation boxes and other equipment in the industry.

Keywords: sugar and ethanol plant, wastewater, wastewater reuse.

¹ Centro de Ciências Exatas, Naturais e Tecnologias, Universidade de Ribeirão Preto, Brasil.

* *Autor correspondente:* Centro de Ciências Exatas, Naturais e Tecnologias, Universidade de Ribeirão Preto, Avenida Costábile Romano, 2201 – Ribeirânia, - Ribeirão Preto - SP, 14096-900. Brasil. Email: alinemiguell@yahoo.com.br

Resumo

O objetivo desse trabalho foi avaliar a possibilidade de reuso da água residuária de uma usina de açúcar e etanol no interior do Estado de São Paulo. Com o período de cinco meses de amostragem em dias aleatórios, foi possível observar uma grande variabilidade da concentração da carga orgânica em termos de DQO que foram de 2396.2 a 101292.4 kg/dia. Na amostragem composta foi obtido a relação DQO solúvel / DQO de 75%, representando que 75% da DQO estava sob a forma dissolvida e 25% na forma suspensa. A DBO de 1460 mg.L⁻¹ quando comparada a 2306 mg.L⁻¹ de DQO solúvel representou a relação DBO / DQO solúvel de 63% indicando que o material que está dissolvido de 63% é biodegradável. Após os estudos realizados na água residuária gerada na usina foram propostos dois tratamentos, sendo eles um físico-químico apenas para usos em que a quantidade de matéria orgânica não influencia e para usos mais exigentes foi proposto um tratamento físico-químico seguido de um tratamento biológico anaeróbico UASB e na sequência um tratamento aeróbio em reatores de lodo ativado. Os pontos propostos para a reutilização da água residuária tratada foram na embebição da cana-de-açúcar na moenda, na esteira metálica da moenda, na embebição dos filtros à vácuo, na limpeza das caixas de evaporação e demais equipamentos na indústria.

Palavras chave: usina de açúcar e etanol, água residuária, reuso água residuária.

Introdução

As indústrias de açúcar e etanol tem importante papel socioeconômico no Brasil e têm como objetivo maximizar a extração do caldo contido na cana para posterior concentração de açúcares para a fabricação de açúcar e etanol. Porém subprodutos são gerados neste processo, como o bagaço da cana da pós moagem, sendo este o principal combustível para as caldeiras de geração de vapor e posterior geração de energia elétrica nos geradores, e a levedura seca que é um complemento alimentar para animais, pois possui teores significativos de proteína (Rosa e Martins, 2013).

Além dos subprodutos citados que são reutilizados na indústria, diferentemente deles há geração de água residuária que sem seu devido tratamento esta não pode ser reutilizada no processo por isso é misturada com a vinhaça e aplicada na agricultura conforme a Norma Técnica da Cetesb P.231. Assim durante o processo de fabricação de açúcar e etanol e demais subprodutos há o uso de grandes quantidades de água que são captadas dos mananciais e poços subterrâneos.

A água residuária gerada pelo setor sucroalcooleiro deve ser tratada para ser reutilizada, sendo o seu tratamento um desafio devido às características físico-químicas do efluente, que pode variar no decorrer da safra. Além disso, segundo a Resolução da Secretaria do Meio Ambiente (SMA) número 88 de 2008 do Estado de São Paulo no Brasil, estabelece o limite máximo de 1 m³ de água/ t de cana moída para as novas Usinas de açúcar e etanol que forem instaladas após março de 2009 em áreas adequadas segundo o Zoneamento agroambiental (Etanol Verde, 2018) e a apresentação de um plano de redução de consumo de água, com cronograma de adequação para atingir limite máximo de 1 m³/ t de cana moída para ampliações de indústrias existentes.

Diante deste fato um tratamento para água residuária de Usinas de açúcar e etanol é um grande aliado ao atendimento da Resolução SMA 88 e também um ato de responsabilidade ambiental, pois visa mitigar ações que reduzem drasticamente o consumo de água no processo de produção, visto que se há o reuso de água, há redução significativa na captação. Desta forma, o presente trabalho visa avaliar além da diluição da vinhaça, a possibilidade de reuso da água residuária em outras atividades consumidoras de água, de uma usina de açúcar e etanol situada no interior do Estado de São Paulo, contribuindo desta forma para minimizar os impactos ao meio ambiente e redução de custos com a captação de água utilizada no processo industrial.

Material e métodos

Caracterização da água residuária gerada

A coleta da água residuária foi realizada na usina de açúcar e etanol localizada no interior do Estado de São Paulo, onde foram coletadas cinco amostras por dia nos seguintes horários: 08:00, 10:00, 12:00, 14:00 e 16:00h. Os dias da coleta foram escolhidos aleatoriamente e o ponto de amostragem foi o local onde todas as águas dos diferentes setores da usina são unidas por uma tubulação na qual está instalado um medidor de vazão do tipo eletromagnético, o qual foi utilizado nas medidas da vazão. Após a coleta as amostras foram encaminhadas para o laboratório de Recursos Hídricos da UNAERP.

No momento de cada coleta foi registrado o valor da vazão, o horário e o data da coleta. Após a coleta as amostras foram encaminhadas para o laboratório da Usina e em seguida guardada em geladeira até o dia em que foram levadas para o laboratório de Recursos Hídricos. A quantificação foi feita utilizando-se a carga de DQO em função da vazão em cada horário como é mostrado na Equação 1.

$$C_i = DQO_i * Q_i$$

Equação (1)

C_i = carga em DQO em cada horário em kg/dia

Q_i = Vazão em cada horário em m³/h

DQO_i = Demanda química de oxigênio inicial

Após obtenção das cargas em cada horário nos dias amostrados foi calculada a média ponderada e os desvios padrões de todos os dias em todos os horários. A partir destas cargas médias definidas em cada horário foi realizada a quantificação do volume a ser amostrado em cada horário a partir da Equação 2.

$$V_i = \frac{c_i}{\sum c_i} * V$$

Equação (2)

Onde:

V = volume total de amostra em mL

V_i = volume a ser coletado em cada horário mL

Em seguida foi realizada a coleta de amostra de água residuária composta dos diferentes usos para a realização das análises físico-químicas de temperatura, pH, série de sólidos, nitrogênio, fósforo, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Carbono Orgânico Total (COT) e amônia. As análises foram realizadas no laboratório de Recursos Hídricos de acordo com o Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, AWW, WEF, 2005).

Proposição de uma tecnologia para tratamento de água residuária

Na fase de pré-seleção técnica foram analisadas as alternativas de tratamento para a água residuária que atendessem os parâmetros requeridos pela resolução CONAMA 430 (2011), o Decreto 8468 (1976) e também a qualidade mínima exigida para se reutilizar a água residuária nos processos dentro da usina em estudo. A escolha da melhor tecnologia levou em conta o possível local de aplicação do reuso sendo avaliados todos os parâmetros e características de cada tratamento e a opção mais econômica, levando em conta uma menor área e que atenda a eficiência exigida pela legislação pertinente.

O tempo utilizado na mistura rápida nos ensaios foram de 60s com rotação de mistura rápida de 160 rpm e a etapa de coagulação foi no tempo de 15 minutos com rotação de 40 rpm e 5 minutos para sedimentação. Logo após foram feitas as medidas de pH e turbidez.

Proposição de pontos de reuso dentro da indústria

A proposição de pontos de reuso dentro da usina em estudo foi realizada após um diagnóstico dos principais pontos de uso de água. A verificação foi feita durante visitas prévias à usina, onde todos os pontos de uso de água no processo de fabricação de açúcar e etanol foram levantados e a qualidade mínima da água exigida para cada reuso foi verificada.

Estimativa de custos

Para a estimativa de custos foi realizada a cotação dos preços dos produtos químicos utilizados para o tratamento da água de estudo que apresentaram os melhores resultados de custo benefício. A estimativa de custo foi feita usando como referência uma ETE hipotética com vazão de água residuária de 124.7 m³/h que foi a média vazão apresentada na usina em estudo na safra de 2018.

Resultados

Caracterização da água residuária gerada na indústria sucroalcooleira

Os volumes mensais médios da água residuária gerada na usina em estudo referente ao ano safra de 2017 e 2018 foram de 128.3 e 124.7 m³/h respectivamente. A vazão da água residuária medida durante as coletas foram realizadas quando a bomba de sucção estava ligada, pois há intervalos na qual a bomba de sucção fica desligada.

A DQO e a vazão da água residuária medidas durante o período de coleta nos horários previamente determinados apresentaram significativa variação, sendo a vazão de 65.6 e 289.7 m³/h, bem como da matéria orgânica expressa na DQO que variou entre 1522 e 18250 mg/L. As concentrações de DQO em função da vazão e do horário de coleta são apresentadas na Figura1.

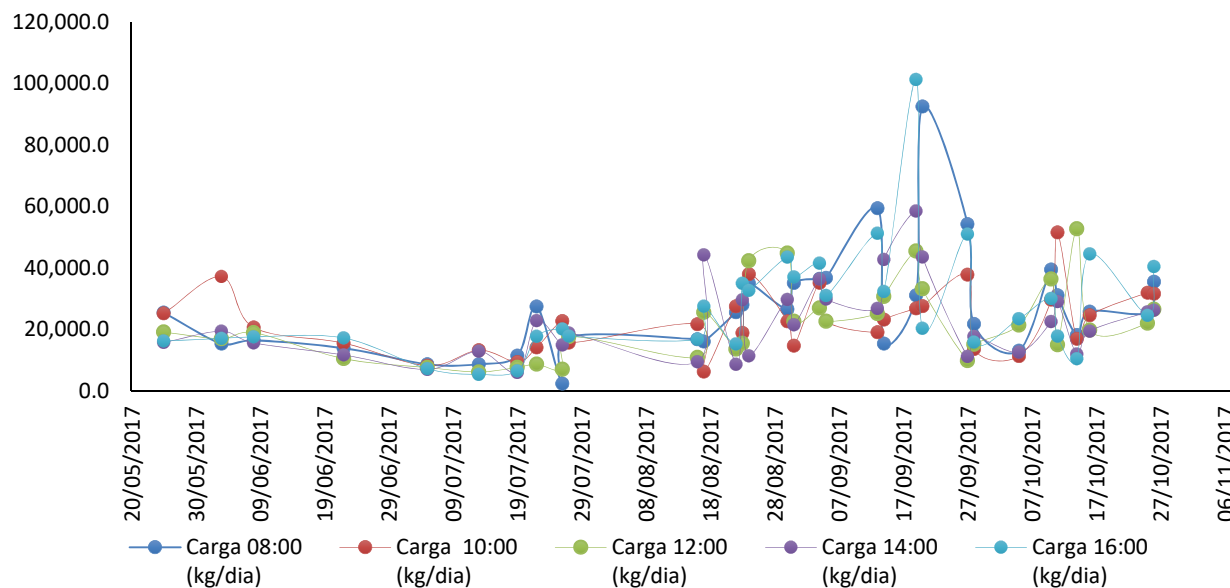


Figura 1. Variação da carga orgânica na água residuária.

Na Figura 1 pode ser observada a variação da carga orgânica que ocorreu desde o início do período amostrado, porém no final da safra 2017 a concentração da matéria orgânica foi bem mais expressiva, ou seja, houve maiores variações com picos maiores de concentração, sendo o maior dele no valor de 101292.4 kg/dia.

Os resultados obtidos nos ensaios físico-químicos são apresentados na Tabela 1. De acordo com os resultados apresentados, observou-se que a água residuária possui elevada concentração de matéria orgânica em termos de DQO que apresentou concentrações entre 3760 a 4600 mg/L O₂ e DBO com concentrações entre 782 e 1650 mg/L O₂, bem como concentrações de óleos e graxas entre 100 e 718 mg/L que segundo a Resolução Nº 430, de 13 de maio de 2011 Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA determina que o lançamento em corpo hídrico o parâmetro máximo substâncias solúveis em hexano até 100 mg/L. Já a relação DQO / DBO apresentou valores acima de 2.5 e segundo Santos et al (2010), para caracterizar um tratamento biológico a relação DQO/DBO deve ser menor que 2.5.

Tabela 1. Caracterização físico-química de água residuária da usina.

Parâmetros químicos	Unidade	Amostra 03/11/2017	Amostra 04/11/2017	Amostra 08/11/2017	Amostra 04/05/2018
pH	Adimensional	4.11	4.46	4.32	4.66
Resíduos sedimentáveis	mL.L ⁻¹ .h ⁻¹	4	32	38	30
NTK	mg.L ⁻¹ N-NH ₃	7	77	74	71
Fósforo Total	mg.L ⁻¹	4	14	13.5	9.5
Nitrogênio Amoniacal	mg.L ⁻¹ N-NH ₃	1.1	2.2	5.1	17
DBO ₅ dias a 20°C	mg.L ⁻¹ O ₂	1357	955	782	1650
DQO	mg.L ⁻¹ O ₂	3760	4600	3960	4281
DQO/DBO ₅ dias a 20°C	Adimensional	2.77	4.82	5.06	2.59
DBO/DQO ₅ dias a 20°C	Adimensional	0.36	0.21	0.20	0.39
COT	mg.L ⁻¹	1704	1314	1005	1374
Óleos e Graxas	mg.L ⁻¹	160	100	110	718
Sólidos Suspensos Totais	mg.L ⁻¹	1158	1404	596	1330
Sólidos Dissolvidos Totais	mg.L ⁻¹	2513	3436	3371	2667
Sólidos Totais	mg.L ⁻¹	3671	4840	3967	3997

Proposição de uma tecnologia para tratamento de água residuária

O tratamento de efluentes gerados em cabines de pintura de uma indústria moveleira segundo Santos et al. (2010), propuseram o tratamento biológico aeróbio de lodo ativado e anaeróbio UASB, o principal motivo que levou a escolha do tratamento biológico foi a relação DQO / DBO menor que 2.5. O tratamento anaeróbio seguido do aeróbio foi selecionado pelo autor devido a eficiência de 88% do tratamento conjugado quando comparado apenas ao tratamento anaeróbio em UASB que foi de 44%.

Em contrapartida conforme os resultados obtidos por Amaral et al. (2013) para biotratabilidade do efluente de branqueamento de polpa celulósica por processos aeróbios e anaeróbios, os testes de DQO inerte e biodegradabilidade indicaram a baixa biodegradabilidade dos efluentes, indicando assim que mesmo com os tratamentos biológicos se faz necessário a conjugação com tratamentos físico-químicos. Na Tabela 2 é apresentada a relação entre a DBO e DQO solúveis da água residuária.

Tabela 2. Relação entre DBO e DBO solúvel realizadas na amostra de água residuária.

Parâmetros químicos	Unidade	Água Residuária
DQO	mg/L O ₂	3075
DQO Solúvel	mg/L O ₂	2306
DBO ₅ dias a 20°C	mg/L O ₂	1466
DBO ₅ dias a 20°C Solúvel	mg/L O ₂	1460
DBO ₅ dias a 20°C Solúvel/ DBO ₅ dias a 20°C	-	0.996
DBO solúvel / DQO Solúvel	-	0.63

Como pode ser observado a relação DQO solúvel / DQO de 75% indicou que 25% da DQO está na forma suspensa, sendo assim a DBO de 1460 mg.L^{-1} quando comparada a 2306 mg.L^{-1} de DQO solúvel representou que a relação DBO / DQO solúvel é de 63%, sendo assim o material dissolvido é 63% biodegradável, indicando que um tratamento físico-químico se faz necessário antecedendo o tratamento biológico.

Segundo Metcalf e Eddy (2016) para o planejamento de novas Estações de Tratamento de Efluentes (ETE), devem ser consideradas não apenas instalações físicas para produzir efluentes tratados, mas também gerar condições para minimizar os custos operacionais associados a mão de obra, energia, à estabilização de subprodutos e a disposição final / reuso. A seleção da melhor tecnologia de tratamento envolveu uma análise detalhada de diversos fatores que devem ser considerados quando avaliar os processos unitários e outros métodos de tratamento para atender tantos os objetivos atuais quanto futuros.

Segundo Di Bernardo e Dantas (2005), a realização de ensaios de tratabilidade da água possibilita verificar a dosagem ótima de produtos químicos e para isso foram realizados ensaios em Jarreste verificando-se dosagens ótimas para a possibilidade de um tratamento físico-químico. A água residuária coletada para os testes estava com pH de 4.89 e turbidez de 2313 NTU. Os melhores resultados obtidos com os ensaios utilizando-se o polímero catiônico, foram com pH de 10.67 e turbidez de 22.0 com a dosagem de 12 mL de NaOH (hidróxido de sódio) e 1.2 mL de polímero catiônico por litro de água residuária. O uso de polímero catiônico exige para melhor eficiência na clarificação, pH mais alto, pois a ação desse polímero ocorre quando se tem pH de aproximadamente 10 e isso pode ocasionar um consumo maior de alcalinizante quando comparado ao uso de polímeros aniônicos.

A melhor dosagem em custo benefício do polímero aniônico A com concentração de 0.005% foi de 10 mL NaOH e 1 mL de polímero aniônico A por litro de água residuária. Nesse ensaio a água iniciou com pH de 5.82 e ao final do ensaio estava com pH 9.12. Os testes com polímero aniônico realizados obtiveram resultados satisfatórios e a vantagem de se utilizar esse polímero é que ele é regularizado para o uso em águas que entram em contato com o alimento, pois ele tem todos os parâmetros controlados e rastreados pelo sistema de gestão da qualidade da usina e é um polímero já utilizado no tratamento do caldo.

Os resultados obtidos mais adequados nos ensaios utilizando-se o PAC (policloreto de alumínio) foi de 12 mL de NaOH e 1 mL de PAC por litro de água residuária. O pH da água residuária iniciou com 5.82 e ao final do teste ficou com pH de 9.44 com turbidez de 3.5. A desvantagem desse tratamento é que o lodo gerado nos decantadores com residual de alumínio necessita de um descarte diferenciado o qual deverá ser avaliado e verificada a sua viabilidade.

Os ensaios seguintes foram feitos utilizando como alcalinizante a cal dolomítica. A água residuária utilizada para os testes estava com pH de 4.31, turbidez de 645 NTU e sólidos suspensos de 569 mg/L. Dentre os resultados obtidos a melhor opção dosando o polímero aniônico A, foi de 10 mL de cal a 5% e 1 mL de polímero aniônico A por litro de água residuária. Os resultados da água tratada foram pH de 10.26, turbidez de 11.1 NTU e sólidos suspensos de 20 mg/L. Durante os ensaios de Jarreste realizados com o alcalinizante cal dolomítica foi possível observar que a cal tem a mesma eficiência que o NaOH e tem como vantagem ter o custo menor, sendo assim foi utilizada como alcalinizante para os demais ensaios.

A amostra de água residuária utilizada na próxima batelada de ensaios estava com 5.60 de pH, 530 mg/L de sólidos suspensos e turbidez de 444 NTU. A melhor dosagem de polímero aniônico B e coagulante B foi de 0.25 mL e 40 mL/L de água residuária respectivamente, onde foi obtido uma turbidez de 7.07 NTU, sólidos suspensos de 19 mg/L e pH de 9.58. No entanto para se obter um bom resultado foi preciso realizar dosagens de polímero aniônico B conjugado à dosagem do coagulante B, pois somente com a dosagem utilizando-se o polímero aniônico B os resultados não foram satisfatórios.

Após a realização de bateladas de ensaios de Jarreste e obter os resultados apresentados, foi realizada uma amostragem da água residuária antes e após os tratamentos físico-químicos, em seguida foi feito o envio das amostras para o laboratório de Recursos Hídricos da UNAERP para a realização das análises cujos resultados são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Resultados das amostras de água residuária coletadas na usina em estudo e amostras da água residuária tratada com os produtos testados.

Parâmetros analisados	Unidade	Água bruta	Água de embebição na moenda, nos filtros e na limpeza das caixas	Água tratada com polímero aniônico B e coagulante B	Água tratada com polímero aniônico A
pH	Adimensional	4.3	6.9	10.82	10.58
Resíduos sedimentáveis	mL/L.h	4	<0.1	<0.1	<0.1
DQO	mg/LO ₂	16933	139	12175	15466
DBO ₅ dias,20°C	mg/LO ₂	10000	67	8516	9850
DQO / DBO	-	1.69	2.07	1.43	1.57
OD	mg/LO ₂	1.8	0.8	1	2.2
COT	mg/L C	4152	154	3717	3973
NTK	mg/L N-NH ₃	15	2.87	6.59	7.28
Nitrogênio Amoniacal	mg/L N-NH ₃	1.04	0.1	2.45	1.56
Fósforo total	mg/L P	1.3	0.4	0.2	0.2
Óleos e Graxas	mg/L	157	<10	61	60
Chumbo	mg/L Pb	0.017	<0.001	0.023	0.028
Cobre	mg/L Cu	1.09	0.37	0.01	0.01

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 3 foi possível verificar que o teor menor ou igual a 61 mg/L de óleos e graxas ou substâncias solúveis em n-hexano e o teor entre 0.01 e 0.37 mg/L de cobre e de 0.001 a 0.028 mg/L de chumbo, são concentrações baixas, que quando a água residuária for misturada às águas de vapores condensados que atualmente é agregada à água para o uso na embebição na moenda, na esteira metálica da moenda, nos filtros a vácuo, na limpeza das caixas de evaporação do caldo e de demais equipamentos na usina, os valores podem ficar até menores que o exigido na Portaria de Consolidação Nº 5, de 28 de Setembro de 2017 que é de 2 mg/L de cobre e 0.01 mg/L de chumbo.

A portaria de Consolidação Nº 05 estabelece limites para a Qualidade da Água para Consumo Humano e seu Padrão de Potabilidade, sendo válido ressaltar que o uso da água na usina em estudo nos pontos propostos são para fins industriais, pois não entra em contato diretamente com o produto final, porém mesmo assim os resultados podem atender a legislação de potabilidade da água.

Para a seleção da tecnologia de tratamento a ser usada foi levado em consideração a variação da vazão do efluente no decorrer do dia, assim para eliminar picos de vazão na unidade de tratamento deve se colocar um reservatório para equalização do efluente com uma bomba submersa de sucção para manter a vazão constante. A primeira etapa proposta foi um gradeamento fino para a remoção de sólidos e na sequência uma caixa de areia para eliminar a sedimentação de sólidos nos decantadores primários e em reatores.

No tratamento físico-químico para a remoção dos sólidos suspensos foi indicado uma etapa de mistura rápida, floculação, coagulação e decantação. Foram propostos dois tipos de tratamentos, sendo um físico-químico apenas onde não há a necessidade de remoção de matéria orgânica e outro que envolve o tratamento físico-químico e o tratamento biológico para usos mais restritos onde não deve haver concentrações altas de matéria orgânica.

O tratamento físico-químico irá remover os sólidos suspensos e a DQO não degradável. O tratamento biológico UASB removerá parte da matéria orgânica e posteriormente o tratamento de lodo ativado que possui eficiência de remoção de carga orgânica entre 85 e 95% finalizará o tratamento biológico (Jordão e Pessôa, 2011).

A principal vantagem do sistema de lodo ativado é que o seu projeto ocupa menor espaço e permite uma remoção elevada de DBO (Telles e Costa, 2010). Como ponto de desvantagem tem-se a alta demanda energética para sua operação devido à exigência de aeração, porém com a associação ao tratamento anaeróbico no UASB o tamanho do reator de lodo ativado será reduzido. Além de que no período de entressafra (período que não há produção na usina) há geração reduzida de efluente industrial. E finalmente com ambos os tratamentos o efluente estará apto para a reutilização no processo de produção industrial.

Proposição de pontos de reuso dentro da indústria

Os principais pontos de reuso que foram verificados na usina em estudo são apresentados no Quadro 1.

Quadro 1. Pontos de reuso de água residuária na usina.

Local	Pontos de reuso propostos
Moenda	Embebição e trocadores de calor para refrigeração dos óleos dos mancais
Tratamento de caldo	Resfriamento de caldo nos trocadores de calor e na embebição dos filtros prensa de lodo
Geradores de energia	Refrigeração de óleos dos mancais
Indústria em geral	Limpeza de pisos, equipamentos, superfícies e na limpeza das caixas de evaporação de caldo
Estação de tratamento de água	Retrolavagem dos filtros de areia, limpeza das resinas aniônicas e catiônicas
Caldeira	Água de alimentação e lavagem dos gases das caldeiras
Fermentação	Lavagem de gás carbônico (CO ₂) na coluna de saída de gases das dornas de fermentação, no preparo do mosto, no preparo do pé de cuba, na adição do produto e insumos durante sua fabricação
Torres de resfriamento	Reposição de água perdida por evaporação

Os pontos de reutilização da água residuária tratada apenas com o tratamento físico-químico propostos na usina em estudo foram na embebição da cana-de-açúcar na moenda e na esteira metálica da moenda, na embebição nos filtros prensa de lodo à vácuo, na destilaria para limpeza de equipamentos e na lavagem das caixas de evaporação do caldo, onde a qualidade da água exigida apresentam características análogas, sendo assim o tratamento físico-químico para remoção de sólidos suspensos realizados nos ensaios de Jarteste apresentaram resultados para turbidez, pH e sólidos suspensos suficientes para a reutilização da água residuária nesses pontos, pois apresentou a qualidade compatível com a atual água que é utilizada na usina, que possui pH de 7.78, turbidez de 49.7 NTU e sólidos suspensos de 61 mg/L. A quantidade de DBO e DQO não é mensurada atualmente, pois a carga orgânica não interfere na embebição.

O volume anual (safra) de água utilizada na embebição da moenda nos anos de 2017 e 2018 são de 665766 e 629141 m³ respectivamente. E o volume de água residuária gerada de 500021 m³ na safra de 2018 poderá ser reutilizada após ser tratada, para suprir o uso da água utilizada na embebição da moenda.

Estimativa de custos

Os produtos que apresentaram maior eficiência no tratamento físico-químico foram os polímeros aniônicos A e B e o coagulante B. Ambos os tratamentos necessitam da dosagem de cal para se obter o pH ideal para a ação dos polímeros. Foram testados o hidróxido de sódio e a cal, porém devido a ambos apresentarem nos testes a mesma eficiência, foi selecionada a cal para se utilizar no tratamento devido ao custo menor da cal quando comparada com o hidróxido de sódio.

Não foram feitos os cálculos de consumos com os demais produtos químicos utilizados, o policloreto de alumínio e o polímero catiônico, pois a quantidade do alcalinizante utilizada nos ensaios de Jarreste foram maiores quando comparado ao consumo de alcalinizante para os ensaios de Jarreste utilizando os polímeros aniônicos A e B e coagulante B.

É válido ressaltar que para os ensaios onde foi utilizado o polímero aniônico B para se ter eficiência no tratamento foi necessário utilizar o mesmo associado à dosagem do coagulante B. Na Tabela 4 são apresentados os custos com o polímero aniônico A e polímero aniônico B e coagulante B.

Tabela 4. Comparativo de custos com produtos químicos para o tratamento de água residuária.

Insumo	Custo com insumos em R\$/m ³ de água residuária tratada	*Custo com insumos em U\$/m ³ de água residuária tratada	Custo com insumos em R\$/mês de água residuária tratada em vazão média de 124.7m ³ /h	*Custo com insumos em U\$/mês de água residuária tratada em vazão média de 124.7m ³ /h
Cal	1.125	0.288	101007.0	25833.0
Polímero aniônico A	0.01	0.003	712.0	182.1
Polímero aniônico B + coagulante B	0.1	0.026	7936.6	2029.8
Polímero aniônico A + cal	1.135	0.291	101719.0	26015.1
Polímero aniônico B + coagulante B	1.235	0.317	108943.6	27862.8

*Cotação do dólar em 18 de dezembro de 2018.

De acordo com a Tabela 4, onde são apresentados os dados dos custos com insumos por m³ de água residuária tratada, pode ser observado que o polímero aniônico A possui o menor custo benefício para o tratamento quando comparado com o polímero aniônico B, pois para se obter a mesma eficiência de tratamento do polímero aniônico A, é necessário utilizar o polímero aniônico B e o coagulante B o que tornou o custo maior.

Conclusões

A água residuária gerada na usina de açúcar e etanol em estudo possui uma vazão média de 124.7 m³/h e é agregada junto à vinhaça para sua disposição final, conforme a Norma Técnica da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo P 4231 para aplicação de vinhaça no solo.

A amostragem realizada durante a safra 17/18 e 18/19 permitiu conhecer o efluente nas diversas etapas da safra, início, meio e fim, o que possibilitou entender o comportamento e a variação da carga orgânica no decorrer do tempo amostrado.

A variação da carga orgânica verificada foi devido aos descartes esporádicos de água de cinzas dos lavadores de gases das caldeiras que se encontra em circuito fechado, porém há purgas no sistema durante o dia como também o descarte de lodo dos decantadores de água da estação de tratamento da água.

Os resultados da caracterização físico-química da água residuária indicaram um teor elevado de matéria orgânica. A relação DQO solúvel / DQO de 75% representou que 75% da DQO estava sob a forma dissolvida e 25% estava na forma suspensa. A DBO de 1460 mg.L⁻¹ quando comparada a 2306 mg.L⁻¹ de DQO solúvel representou a relação DBO / DQO solúvel de 63% e com isso foi possível concluir que o material que estava dissolvido era 63% biodegradável, sendo assim fica evidente que um tratamento físico químico é essencial para remover os sólidos suspensos e parte da DQO e que o tratamento biológico é a melhor opção para a remoção da matéria orgânica.

Os pontos propostos para reutilização da água residuária foram: na embebição da cana-de-açúcar na esteira metálica da moenda, embebição nos filtros à vácuo e enxague das caixas de evaporação do caldo, onde apenas o tratamento físico-químico atende as exigências da qualidade da água requerida.

Com o estudo apresentado foi possível concluir que há duas opções de tratamento da água residuária, sendo um tratamento físico-químico apenas para usos onde não é necessário a remoção da matéria orgânica e outro com tratamento físico-químico seguido por um tratamento biológico anaeróbio UASB e um tratamento biológico aeróbico de lodo ativado o qual é o mais indicado para usos onde é necessária a remoção da matéria orgânica.

O insumo mais viável em relação a custo benefício foi o polímero aniônico A com a cal dolomítica como alcalinizante, devido ao polímero aniônico B ter a necessidade de ser dosado em conjunto com o coagulante B, porém sugere-se que outros produtos químicos sejam testados para que o tratamento se torne viável e que sejam realizados ensaios de bancada para se avaliar a eficiência dos tratamentos biológicos após o tratamento físico-químico.

Referências

- Amaral, M. C. S., Andrade L. H., Lange, L. C., Borges C. P. (2013) Avaliação da biotratabilidade do efluente de branqueamento de polpa celulósica por processos aeróbicos e anaeróbicos. *Engenharia Sanitária ambiental*. **18**, 253-262.
- Di Bernardo, L., Dantas, A. D. B. (2005) *Métodos e técnicas de tratamento de água*. 2ª edição, editora Rima, 792 pp. Etanol Verde. Zoneamento agroambiental no Estado de São Paulo. Acesso em 20 de agosto de 2018, disponível em: https://smastr16.blob.core.windows.net/etanolverde/2011/10/mapaZoneamentoAgroambiental_g.jpg
- Jordão, E.P., Pessoa, C. A. (2011) Tratamento de esgotos domésticos. 6ª edição, 1050p, Rio de Janeiro-RJ.
- Metcalf, L., Eddy, H., tradução: Hespanhol, I., Mierzwa, J.C. (2016) Tratamento de efluentes e recuperação de recursos. 5ª ed. Porto Alegre: AMGH, 2016 pp.
- CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (2015) *Norma técnica P4.23. Vinhaça – Critérios e procedimentos para aplicação no solo agrícola*, São Paulo – Brasil, 3ª Edição. Fevereiro de 2015, 15 pp. Disponível em: https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/2013/11/NTC-P4.231_Vinha%C3%A7a-Crit%C3%A9rios-e-procedimentos-para-aplica%C3%A7%C3%A3o-no-solo-agr%C3%ADcola-3%C2%AA-Ed-2%C2%AA-VERS%C3%83O.pdf
- Brasil (2017) *Portaria de consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde*, Ministério da Saúde. Gabinete do Ministro, São Paulo – Brasil. Acesso em 10 de dezembro de 2018, disponível em: <https://portalarquivos2.saude.gov.br/images/pdf/2018/marco/29/PRC-5-Portaria-de-Consolida---o-n---5--de-28-de-setembro-de-2017.pdf>
- Rosa, A.S, Martins, C. P. S. (2013) Produção mais limpa nas fontes geradoras de poluição da indústria de açúcar e álcool. *Revinter*. **6**, 90-125.
- Brasil (2008) *Resolução SMA - 88, de 19-12-2008. Define as diretrizes técnicas para o licenciamento de empreendimentos do setor sucroalcooleiro no Estado de São Paulo*, 19 dezembro de 2008, Secretaria do Meio Ambiente do estado de São Paulo. Acesso em 10 de dezembro de 2018, disponível em: http://licenciamento.cetesb.sp.gov.br/legislacao/estadual/resolucoes/2008_Res_SMA_88.pdf
- Brasil (2011) *Resolução Nº 430, Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005. CONAMA-Conselho Nacional do Meio Ambiente*, 13 de maio de 2011, Publicação DOU nº 92, de 16/05/2011, pág. 89. Acesso em 10 de dezembro de 2018, disponível em <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>
- Santos, A. R. L., Aquino, S. F., Carvalho, C. F., Vieira, L. A., Gontijo, E. S. J. (2010) Caracterização e tratabilidade biológica dos efluentes líquidos gerados em cabines de pintura de uma indústria moveleira. *Engenharia Sanitária Ambiental*. **15**, 357-366.
- São Paulo. Decreto Estadual n. 8.468, de 8 de setembro de 1976. Acesso em 25 de janeiro de 2018, disponível em: http://licenciamento.cetesb.sp.gov.br/legislacao/estadual/decretos/1976_Dec_Est_8468.pdf
- SMA, Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo (2017) Relatório Preliminar Etanol Verde. Acesso em 25 de janeiro de 2018. Disponível em: http://arquivos.ambiente.sp.gov.br/etanolverde/2017/06/etanol-verde-relatorio-preliminar-safra-16_17-site.pdf
- APHA, AWW, WEF (2005) *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 19th ed., American Public Health Association, the American Water Works Association, and the Water Environment Federation. ISBN 0-87553-223-3.
- Telles, D. D. A., Costa, R. P. (2010) *Reuso da água conceitos, teorias e práticas*, 2ª ed., Edgar Blucher Ltda, Edgar Blucher Ltda, 408 pp.