**TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO EM ASSOCIAÇÃO A LIXIVIADO DE ATERRO SANITÁRIO E GLICEROL BRUTO**

GUSTAVO HENRIQUE PEDROSO1, JACKELINE TATIANE GOTARDO2

1Estudante de Engenharia Civil, UNIOESTE, Cascavel-PR, gustavo.pedroso@unioeste.br;

2Dra. Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Prof. Adj. CCET, UNIOESTE, Cascavel-PR, jackeline.gotardo@unioeste.br.

**RESUMO**: Esse trabalho teve o objetivo de avaliar o processo de codigestão anaeróbia de esgoto sanitário proveniente de estação de tratamento em associação a lixiviado de aterro sanitário e glicerol proveniente da produção de biodiesel. Foi realizada a codigestão anaeróbia em reatores em regime batelada para avaliação da remoção de matéria orgânica dos substratos. O experimento utilizou do planejamento experimental Plackett & Burman para avaliar os efeitos dos fatores tempo (20, 30 e 40 dias), pH (7,0; 7,5 e 8,0), teor de glicerol na mistura (1,0; 1,5 e 2,0%) e teor de lixiviado na mistura (2,0; 5,0 e 3,5%) na variável resposta remoção de matéria orgânica. Ao analisar os efeitos, com nível de significância de 5%, o tempo, o pH e o teor de lixiviado foram os fatores que influenciaram significativamente na variável resposta. A maior remoção de matéria orgânica obtida foi de 97,1% e 94,3%, respectivamente relativo as remoções de DQOfiltrada e DQOsolúvelpara o Reator R1 (t = 40 d; pH = 7,0; %LAS = 2,0; %GB = 2,0), enquanto a menor remoção obtida foi da ordem de 33,4 % e 52,5 %, respectivamente relativo as remoções de DQOfiltrada e DQOsolúvel para o Reator R3 (t = 40 d; pH = 8,0; %LAS = 5,0; %GB = 1,0).

**PALAVRAS-CHAVE:** Planejamento experimental; Remoção de matéria orgânica; Reator Batelada.

**TREATMENT OF WASTEWATER BY ANAEROBIC CO-DIGESTION OF SANITARY SEWAGE IN ASSOCIATION WITH LANDFILL LEACHATE AND CRUDE GLYCEROL**

**ABSTRACT**: This work aimed to evaluate the anaerobic co-digestion process of sanitary sewage from a treatment plant in association with landfill leachate and glycerol from biodiesel production. Anaerobic co-digestion was performed in batch reactors to evaluate the removal of organic matter from the substrates. The experiment used the Plackett & Burman experimental design to evaluate the effects of the factors time (20, 30 and 40 days), pH (7.0; 7.5 and 8.0), glycerol content in the mixture (1.0; 1.5 and 2.0%) and leachate content in the mixture (2.0; 5.0 and 3.5%) on the response variable removal of organic matter. When analyzing the effects, with a significance level of 5%, time, pH and leachate content were the factors that significantly influenced the response variable. The highest removal of organic matter obtained was 97.1% and 94.3%, respectively related to the removals of CODfiltered and CODsoluble for Reactor R1 (t = 40 d; pH = 7.0; %LL = 2.0; %CG = 2.0), while the lowest removal obtained was of the order of 33.4% and 52.5%, respectively related to the removals of CODfiltered and CODsoluble for Reactor R3 (t = 40 d; pH = 8.0; %LL = 5.0; %CG = 1.0).

**KEYWORDS:** Experimental design; Removal of organic matter; Batch reactor.

**INTRODUÇÃO**

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), aponta os aterros sanitários como a solução ideal para a disposição final dos resíduos sólidos que não são aproveitáveis para reciclagem, compostagem e outras soluções que visam o processamento dos resíduos (TONETO JR et al. 2014). Nesse sentido, o lixiviado necessita de tratamento antes de ser disposto no meio ambiente e uma das opções disponíveis é o tratamento biológico, que vem sendo estudado pela comunidade cientifica nas últimas décadas (SANTOS, 2009).

De acordo com Ferraz (2014), algumas cidades brasileiras que dispõem de Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) lançam o lixiviado na rede de esgoto com o objetivo de que essas águas residuárias sejam tratadas em consórcio. A estrutura existente já reforça a utilização do tratamento conjunto uma vez que o descarte do lixiviado nas estações de esgoto é favorável ao processo bioquímico, não afetando negativamente o desempenho da ETE quando o lixiviado utilizado for jovem.

Em caso de lixiviado recalcitrante a inclusão de um substrato com maior presença de carbono como o glicerol pode ser favorável. Assim, de acordo com Albuquerque (2014), o Brasil é um dos maiores produtores e consumidores do mundo de biodiesel e, como destaca Santibáñez et al. (2011), o glicerol como subproduto da produção do biodiesel, representa de 16 a 18% do peso de entrada do óleo ou gordura o que gera um excedente desse efluente causando uma redução drástica no seu preço dando origem a preocupações relacionadas a seu aproveitamento.

Considerando-se a importância dos efluentes expostos, faz-se necessário indicar alternativas que possam melhorar seus tratamentos, portanto este trabalho propõe complementar os estudos envolvendo o tratamento de águas residuárias via codigestão, propondo uma mistura ternária de esgoto sanitário, lixiviado de aterros sanitários e glicerol, possibilitando a avaliação desse processo com a utilização de reator batelada para determinar a proporção mais adequada de mistura desses efluentes que possibilite a melhor remoção de matéria orgânica.

**MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento e as análises de bancada foram conduzidos no Laboratório de Saneamento Ambiental (LASAM), localizado no bloco H, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Cascavel. O lixiviado foi oriundo do aterro sanitário municipal, Classe II A que se localiza em área rural do município de Cascavel - PR. As amostras de esgoto bruto foram obtidas da prestadora de serviços públicos de saneamento localizada no município de Cascavel – PR que possui vazão afluente de 120 L/s e utiliza um processo de tratamento por reator UASB seguido de lagoa facultativa. O glicerol foi disponibilizado pelo Laboratório de Tecnologias Sustentáveis (LABTES) localizado nas dependências da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Cascavel. A inoculação dos reatores foi feita com lodo de reator anaeróbio disponibilizado pela prestadora de serviços públicos de saneamento.

Os ensaios utilizaram os seguintes materiais: câmara de demanda bioquímica de oxigênio (DBO), frascos de borossilicato como reatores e septos para vedação. Os reatores tiveram volume total de 1000 mL, onde 225 mL foram de amostra, 750 mL de headspace e os 25 mL do volume restante foram ocupados pelo material suporte. A câmara de DBO foi mantida em 37 °C e os reatores foram agitados manualmente, uma vez ao dia. As amostras pós-tratamento foram caracterizadas quanto à DQOfiltrada (centrifugada a 3400 rpm durante 20 min), DQOsolúvel (filtrada em membrana 0,45 μm), pH, alcalinidade total (AT), parcial (AP) e intermediária (AI) e acidez volátil (AV). Os métodos utilizados para caracterização dos efluentes e avaliação da resposta experimental estão expostos na Tabela 1, abaixo.

Tabela 1. Parâmetros utilizados seus métodos e referências.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Parâmetros | Método de análise | N° do método | Fonte |
| pH | Potenciométrico | 4500\_H+ | APHA (2017) |
| Alcalinidade (mgCaCO3/L) | Titulométrico | - | Ripley, Boyle e Converse (1986) |
| Acidez Volátil (mgHAc/L) | Titulométrico | - | Dilallo e Albertson (1961) |
| DQO (mg/L) | Espectrofotométrico | 5220 D | APHA (2017) |
| Sólidos Totais (mg/L) | Gravimétrico | 2540 B | APHA (2017) |
| Sólidos Fixos (mg/L) | Gravimétrico | 2540 E | APHA (2017) |
| Sólidos Voláteis (mg/L) | Gravimétrico | 2540 E | APHA (2017) |
| Sólidos Dissolvidos (mg/L) | Gravimétrico | 2540 C | APHA (2017) |
| Sólidos Suspensos (mg/L) | Gravimétrico | 2540 D | APHA (2017) |

Para análise dos efeitos e relações de significância dos fatores para com a variável resposta, foi-se utilizado o planejamento Plackett & Burman (PB). Assim, a Tabela 2 expõe os fatores selecionados e seus valores para cada nível do planejamento, já a Tabela 3 apresenta os tratamentos com as concentrações utilizadas para cada fator bem como sua codificação nos níveis.

Tabela 2. Variáveis utilizadas para o PB.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Níveis | -1 | 0 | +1 |
| Tempo (Dias) | 20 | 30 | 40 |
| pH | 7,0 | 7,5 | 8,0 |
| Teor de lixiviado (% volume/volume) | 2,0 | 3,5 | 5,0 |
| Teor de glicerol (% volume/volume) | 1,0 | 1,5 | 2,0 |

Tabela 3. Matriz do planejamento PB com fatores codificados e níveis utilizados.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Reatores | Tempo (Dias) | pH | Teor de lixiviado (% volume/volume) | Teor de glicerol  (% volume/volume) | Matéria orgânica  (gDQO) |
| R1 | +1 (40) | -1 (7,0) | -1 (2,0) | +1 (2,0) | 7,85 |
| R2 | +1 (40) | +1 (8,0) | -1 (2,0) | -1 (1,0) | 3,99 |
| R3 | +1 (40) | +1 (8,0) | +1 (5,0) | -1 (1,0) | 3,99 |
| R4 | -1 (20) | +1 (8,0) | +1 (5,0) | +1 (2,0) | 7,85 |
| R5 | +1 (40) | -1 (7,0) | +1 (5,0) | +1 (2,0) | 7,85 |
| R6 | -1 (20) | +1 (8,0) | -1 (2,0) | +1 (2,0) | 7,85 |
| R7 | -1 (20) | -1 (7,0) | +1 (5,0) | -1 (1,0) | 3,99 |
| R8 | -1 (20) | -1 (7,0) | -1 (2,0) | -1 (1,0) | 3,99 |
| R9 | 0 (30) | 0 (7,5) | 0 (3,5) | 0 (1,5) | 5,92 |
| R10 | 0 (30) | 0 (7,5) | 0 (3,5) | 0 (1,5) | 5,92 |
| R11 | 0 (30) | 0 (7,5) | 0 (3,5) | 0 (1,5) | 5,92 |

A partir dos dados obtidos foi realizada análise da influência dos parâmetros em função da variável resposta por meio de análise de variância (ANOVA) com uso do software STATISTICATM. Foram calculados os valores das relações acidez:alcalinidade e alcalinidade intermediária:alcalinidade parcial que são considerados indicadores de estabilidade e analisado a remoção de DQO.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A partir do delineamento PB para a remoção de DQOfiltrada e de DQOsolúvel, a um nível de significância (α) de 5 %, verificou-se que, o teor de lixiviado, o tempo e o pH tiveram influência significativa no processo. Ainda foi possível constatar que os teores de glicerol avaliados não influenciaram significativamente em nenhuma das respostas.

Nota-se que, com exceção do teor de glicerol, ao passar do nível inferior para o nível superior todos os demais fatores reduzem a remoção de DQO filtrada e solúvel (Figura 1).

Figura 1. Efeitos dos fatores sobre a remoção de DQO.

Tabela 4. Remoção de matéria orgânica em termos de DQO.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Reatores | DQOfiltrada  Entrada (mg/L) | DQOfiltrada  Saída (mg/L) | Ef.  (%) | DQO solúvel  Entrada (mg/L) | DQOsolúvel  Saída (mg/L) | Ef.  (%) |  |
| R1 | 39602,8 | 1128,7 | 97,1 | 4985,4 | 283,6 | 94,3 |  |
| R2 | 14594,0 | 935,7 | 93,6 | 5775,1 | 340,6 | 94,1 |  |
| R3 | 3669,1 | 2445,0 | 33,4 | 3405,9 | 1617,4 | 52,5 |  |
| R4 | 8144,4 | 2796,0 | 65,7 | 5775,1 | 1512,1 | 73,8 |  |
| R5 | 8144,4 | 3620,8 | 55,5 | 5775,1 | 1591,0 | 72,5 |  |
| R6 | 39602,8 | 3217,2 | 91,9 | 4985,4 | 1626,1 | 67,4 |  |
| R7 | 3669,1 | 1076,1 | 70,7 | 3405,9 | 722,3 | 78,8 |  |
| R8 | 14594,0 | 1286,7 | 91,2 | 5775,1 | 388,9 | 93,3 |  |
| R9 | 16305,1 | 1514,8 | 90,7 | 5380,3 | 327,4 | 93,9 |  |
| R10 | 16305,1 | 1392,0 | 91,5 | 5380,3 | 327,4 | 93,9 |  |
| R11 | 16305,1 | 2164,2 | 86,7 | 5380,3 | 678,4 | 87,4 |  |

Da Tabela 4, nota-se que a maior remoção tanto de DQOfiltrada quanto de DQOsolúvel se deu para o Reator 1, enquanto as menores remoções se deram para o Reator 3. Com base em trabalhos como os de Silva, C (2017), Bottega (2019), Garcia (2019) e Ayabe (2018) verifica-se que há variabilidade na remoção de DQO a depender do tipo de reator utilizado e do efluente escolhido para compor a mistura codigerida com o glicerol. A COV também demonstrou ser um fator que dificulta o aumento dos teores de glicerol na mistura de acordo com a literatura acima apresentada, no entanto, esta dificuldade não foi relevante no presente estudo uma vez que, o reator R1 obteve as maiores remoções.

Em se tratando do acompanhamento da estabilidade, a Figura abaixo, apresenta os parâmetros utilizados como indicadores desse processo, tanto em valores de entrada quanto de saída.

Figura 2. Acompanhamento da estabilidade do processo.

Kunz et al. (2019), trazem a queda do pH pode estar associada ao acúmulo de AOVs e relações AI/AP superiores a 0,4 indicam que o reator está em sobrecarga. A Figura 14 mostra que todos os reatores mantiveram valores de AI/AP e AV/AT abaixo de 0,4 com valores de pH de saída variando de 7,09 a 7,77, onde apenas os reatores R4 e R6 estavam demonstrando tendência de atingir as condições de instabilidade descritas.

Issah & Kabera (2020) verificaram que valores de 0,1 a 0,35 para a relação AV/AT conduzem a uma boa estabilidade do processo com remoção adequada de matéria orgânica. Assim, os reatores R1, R2, R8, R9, R10 e R11 apresentaram valores de saída abaixo de 0,1 indicando que estavam entrando em subcarga.

**CONCLUSÃO**

O processo de codigestão de lixiviado de aterro sanitário em associação com o esgoto sanitário e glicerol em reator batelada promove adequada remoção de matéria orgânica. O experimento não apresentou instabilidade, demonstrando relações AI/AP e AV/AT abaixo de 0,4.

O planejamento Plackett & Burman permitiu verificar que o teor de glicerol foi o único fator que não apresentou influência significativa na variável resposta.

**REFERÊNCIAS**

ALBUQUERQUE, Mariana Furtado Granato de. Tratamento do glicerol bruto proveniente da produção de biodiesel visando a geração de metano. 2014. 80 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Biotecnologia, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2014.

BOTTEGA, Lucas Decarli. Codigestão anaeróbia de lixiviado de aterro sanitário e glicerol em reator de leito fixo visando o tratamento e a produção de biogás. 2019. 115 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Do Oeste Do Paraná, Cascavel, 2019. Disponível em: https://tede.unioeste.br/handle/tede/4626.

DILALLO, Rosemarie; ALBERTSON, Orris E. Volatile Acids by Direct Titration. Water Pollution Control Federation. [S. L.], p. 356-365. abr. 1961. Disponível em: http://www.jstor.org/stable/25034391. Acesso em: 29 jul. 2022.

FERRAZ, Fernanda de Matos. Estudo de tratabilidade dos lixiviados de aterros sanitários - ênfase no tratamento consorciado com esgoto sanitário em sistema aeróbio. 2014. 252 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-Graduação e Área de Concentração em Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

GARCIA, Caroline de Cassia Banci. Codigestão anaeróbia de glicerol residual com esgoto sanitário em reator híbrido visando ao aumento. 2019. 102 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento e Área de Concentração em Hidráulica e Saneament, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2019.

ISSAH, Abdul-Aziz; KABERA, Telesphore. Impact of volatile fatty acids to alkalinity ratio and volatile solids on biogas production under thermophilic conditions. Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy, v. 39, n. 6, p. 871–878, jun. 2021.

KUNZ, Airton; STEINMETZ, Ricardo Luis Radis; AMARAL, André Cestonaro do (ed.). Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato. Concórdia: Sbera: Embrapa Suínos e Aves, 2019. 209 p.

RIPLEY, L. E.; BOYLE, W. C.; CONVERSE, J. C.. Improved Alkalimetric Monitoring for Anaerobic Digestion of High-Strength Wastes. Water Pollution Control Federation. [S. L.], p. 406-411. maio 1986. Disponível em: http://www.jstor.org/stable/25042933. Acesso em: 29 jul. 2022.

SANTIBÁÑEZ, Claudia; VARNERO, María Teresa; BUSTAMANTE, Mauricio. Residual glycerol from biodiesel manufacturing, waste or potential source of bioenergy: a review. Chilean Journal Of Agricultural Research. [S. L.], p. 469-475. jul. 2011. Disponível em: http://www.bioline.org.br/pdf?cj11059. Acesso em: 26 set. 2022.

SANTOS, André Felipe de Melo Sales. Tratamento anaeróbio de chorume em conjunto com esgoto sanitário. 2009. 166 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2009.

SILVA, Camila Zanoni. Codigestão anaeróbia de lixiviado de aterro sanitário e glicerol. 2017. 66 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Unioeste), Cascavel, 2017.

TONETO JÚNIOR, Rudinei; SAIANI, Carlos César Sandejo; DOURADO, Juscelino (org.). Resíduos Sólidos No Brasil: oportunidades e desafios da lei federal nº 12.305 (lei de resíduos sólidos). Barueri: Manole Ltda, 2014. 426 p.