

AVALIAÇÃO DA DIGESTÃO ANAERÓBIA NO TRATAMENTO DE LODO SECUNDÁRIO EM REFINARIAS DE PETRÓLEO

Tayane Miranda Silva de Castro (*), Magali Christe Cammarota, Elen Beatriz Acordi Vaz Pacheco

* Programa de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica e Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
E-mail: tayanemiranda@hotmail.com

RESUMO

O setor de Óleo e Gás é uma importante atividade industrial no século XXI, sendo estes combustíveis as principais fontes de energia e receita de diversos países. Dentro de toda a cadeia produtiva do petróleo, a etapa de refino não é importante apenas do ponto de vista estratégico, mas também do ponto de vista ambiental. Os resíduos sólidos são gerados durante os diversos processos de refino, bem como durante o tratamento dos efluentes. O lodo secundário de excesso proveniente de sistemas de lodos ativados representa de 1 a 2% do volume de efluente tratado, e em números absolutos pode atingir 21 toneladas/mês por refinaria. Esses resíduos precisam ser gerenciados, tratados e ter um destino correto. A técnica de digestão anaeróbia pode ser empregada para este tratamento e, ainda com uma vantagem, a produção de biogás. A análise SWOT foi a ferramenta usada neste estudo para organizar e analisar estas vantagens e desvantagens, na forma de forças, oportunidades, ameaças e fraquezas. Nos experimentos de digestão anaeróbia, a razão inóculo (lodo anaeróbio) / substrato (lodo de refinaria) de 2 levou a melhores resultados de volume de biogás (45 mL), produção específica de biogás (39 mL biogás/g SV aplicados) e remoção de sólidos voláteis (23%).

PALAVRAS-CHAVE: Digestão anaeróbia, resíduos sólidos, lodo secundário, refinarias de petróleo, análise SWOT.

ABSTRACT

Oil and gas are currently the main sources of energy and revenue in several countries. This sector is seen as an important industrial activity in the 21st century and the environmental impacts caused also assume a high degree of importance. The solid waste are generated during the several refining processes as well as during the treatment of the effluents. The excess of secondary sludge from activated sludge systems represents 1 to 2% of the volume of treated effluent, in absolute numbers it can reach 21 tons/month per refinery. These wastes need to be managed, treated, and have a correct destination. The anaerobic digestion technic can be employed to this treatment and, still with an advantage, the production of biogas. The SWOT analysis was the tool used in this study to organize and analyze these advantages, and also disadvantages, in form of forces, opportunities, threats, and weaknesses. The condition in which the anaerobic digestion experiment obtained the best result was with inoculum in ratio I/S 2 with results of biogas volume (45 mL), specific biogas production (39 mL biogas/g VS applied), and volatile solids removal (23%).

KEY WORDS: Anaerobic digestion, solid waste, secondary sludge, petroleum refinery, SWOT matrix.

INTRODUÇÃO

Refinarias de petróleo são grandes instalações industriais, geralmente próximas a zonas urbanas, que usam grande quantidade de água e geram resíduos gasosos, líquidos e sólidos, alguns de difícil tratamento e disposição (BAHADORI, 2014; MARIANO, 2005). O lodo de excesso dos sistemas de lodos ativados, normalmente empregados no tratamento de efluentes das refinarias, representa de 1 a 2% do volume de efluente tratado. No entanto, devido à elevada vazão de efluente, uma refinaria pode gerar até 21 toneladas mensais de lodo de excesso (MARIANO, 2005). Este resíduo precisa ser gerenciado, tratado e ter uma destinação correta, o que acarreta custos que podem chegar a 60% dos custos de operação de uma estação de tratamento de efluentes (ANDREOLI et al., 2014; FOLADORI et al., 2010).

Tendo em vista os aspectos legais, ambientais, sociais e econômicos, é pertinente um enfoque administrativo e estratégico que possa ajudar na avaliação de técnicas de tratamento e destinação dos resíduos. Uma das ferramentas práticas desse enfoque, que permite um planejamento estratégico apropriado, é a análise SWOT (*Strengths, Weaknesses, Opportunities e Threats*). Nesta análise, as forças, oportunidades, ameaças e fraquezas de cada técnica são levantadas, facilitando o entendimento das situações externas e internas que envolvem diversas organizações, e direcionando recursos e capacidades para atingir seus objetivos (FERRELL e HARTLINES, 2012).

Uma das técnicas de tratamento a ser avaliada para o lodo de excesso gerado nas refinarias é a digestão anaeróbia. Na digestão anaeróbia ocorre a conversão da matéria orgânica biodegradável do resíduo em biogás, cujo conteúdo em metano (CH₄) pode ser aproveitado na indústria de petróleo como fonte de calor ou de eletricidade (ANDREOLI et al., 2014; METCALF e EDDY, 2003).

OBJETIVO

O objetivo do trabalho foi realizar um levantamento de benefícios e dificuldades da digestão anaeróbia de lodo de excesso do sistema de lodos ativados de uma refinaria de petróleo, através de análise SWOT. Para tal, experimentos de digestão anaeróbia de uma amostra de lodo de excesso foram realizados.

METODOLOGIA

Amostragem e caracterização do material de estudo: O estudo foi conduzido com lodo de excesso proveniente do sistema de lodos ativados de uma estação de tratamento de refinaria, coletado em julho/2017 após etapa de desaguamento por centrifugação. Uma alíquota deste lodo foi caracterizada, segundo metodologias padrão (APHA, 2012), sendo o restante armazenado a 4 °C até o momento de uso.

Ensaio de digestão anaeróbia: Os ensaios de digestão anaeróbia foram conduzidos em frascos penicilina de 100 mL com volume útil de 50 mL composto de lodo de excesso e inóculo nas razões inóculo/substrato (I/S) de 1 e 2 (em g/g de sólidos voláteis).

O inóculo utilizado nos ensaios de digestão anaeróbia foi coletado em reator anaeróbio em operação em indústria de abate de aves. Uma alíquota foi tomada para caracterização, segundo procedimentos padrão (APHA, 2012), sendo o restante também armazenado a 4°C até o momento de uso. O inóculo apresentava pH neutro (6,81), alta umidade (95,7%) e concentração de sólidos totais voláteis 1,7 % (g/100 g massa úmida).

O lodo de refinaria (LR) foi utilizado diluído na proporção de 1 (lodo): 4 (água) para simular a umidade do lodo em etapa anterior à da amostra recebida, antes da centrifugação. O lodo diluído apresentava concentração de sólidos totais voláteis de 2,1 % (g/100 g massa úmida). O pH da mistura de lodo e inóculo foi ajustado com NaHCO₃ para valores de 7,0±0,2. Uma alíquota foi retirada para as análises iniciais e 50 mL transferidos para os frascos, que foram lacrados com batoques de borracha e lacres de alumínio, e incubados a 35 ± 1°C até estabilização da produção de biogás.

Os ensaios foram feitos em triplicata e sem adição de nutrientes. Para que a produção de biogás fosse verificada ao longo do tempo, agulhas com escalpes conectados a seringas plásticas de 60 mL foram acopladas ao selo de borracha. À medida que o biogás era produzido, o êmbolo era deslocado e o volume de biogás medido. A digestão foi avaliada por análises de sólidos totais voláteis, pH, acidez volátil e alcalinidade (APHA, 2012).

Cinco condições foram avaliadas, variando-se a razão inóculo/substrato (I/S) empregada, conforme apresentado na Tabela 1. Foram realizados controles contendo somente inóculo nas mesmas condições de I/S empregadas nos ensaios com lodo de refinaria, ou seja, frascos contendo somente inóculo na mesma quantidade empregada nos frascos com a mistura de lodo de refinaria e inóculo. Também foi realizado um controle contendo somente lodo de refinaria.

Tabela 1. Condições experimentais avaliadas nos ensaios de digestão anaeróbia.

Condições	Resíduo	Razão I/S
C1	LR	--
C2	Controle - Inóculo	2
C3	Controle - Inóculo	1
C4	LR + inóculo	2
C5	LR + inóculo	1

Análise SWOT: Para avaliar benefícios e problemas no âmbito técnico, ambiental e econômico da digestão anaeróbia de lodo de excesso, foi utilizada como ferramenta a matriz SWOT e os dados avaliados foram obtidos da literatura científica. Foi realizado um levantamento em livros e artigos científicos das vantagens (fatores positivos) e desvantagens (fatores negativos) da digestão anaeróbia de lodos de um modo geral. Em uma pesquisa na literatura, não foram encontrados documentos sobre a digestão de lodo de excesso de refinarias.

RESULTADOS

O lodo de refinaria (LR) utilizado no estudo tem sua caracterização apresentada na Tabela 2.

Tabela 2. Caracterização físico-química do lodo de excesso de refinaria. Fonte: Autor do trabalho.

Parâmetro	Unidade	Valor
pH	--	7,1
Umidade	%	86,0
Densidade	g/mL	0,996
Sólidos Totais	g/100 g massa úmida	13,8
Sólidos Totais Voláteis	g/100 g massa úmida	8,4
Sólidos Totais Fixos	g/100 g massa úmida	5,4
Óleos e Graxas	g/100 g massa seca	1,01
Hidrocarbonetos	g/100 g massa seca	0,95
Carbono	g/100 g massa seca	38,6
Nitrogênio	g/100 g massa seca	5,2
Fósforo Total	g/100 g massa seca	1,7
Cádmio	mg/100 g massa seca	< 0,07
Chumbo	mg/100 g massa seca	0,7
Cobre	mg/100 g massa seca	0,7
Cromo	mg/100 g massa seca	0,4
Ferro	mg/100 g massa seca	475,1
Manganês	mg/100 g massa seca	12,0
Níquel	mg/100 g massa seca	0,8
Zinco	mg/100 g massa seca	34,7

Observa-se que o lodo apresenta pH neutro, uma alta umidade (mesmo após a etapa de centrifugação), alta concentração de matéria orgânica (cerca de 65% dos sólidos totais são voláteis), pouco óleos e graxas, e metais, além de uma baixa relação C/N (7,4), considerando uma relação ideal para a digestão anaeróbia de 20 a 30, conforme proposto por Chernicharo (2007). Uma baixa relação C/N é resultante de elevada concentração de nitrogênio no lodo, que pode levar a uma elevada produção de amônia e inibição da digestão anaeróbia. Uma alternativa para aumentar a concentração de carbono orgânico e reduzir a relação C/N seria a codigestão anaeróbia deste lodo com outros resíduos contendo matéria orgânica facilmente biodegradável, como resíduo alimentar (WANG et al., 2012; MATA-ALVAREZ et al., 2014).

O experimento de digestão anaeróbia do lodo de refinaria, nas condições apresentadas na Tabela 1, foi monitorado ao longo de 45 dias. A Figura 2 apresenta a evolução da produção acumulada de biogás durante este período. Ao final do experimento, os frascos controle (contendo somente lodo anaeróbio empregado como inóculo) apresentaram os menores valores de volume de biogás: 1,5 mL (no controle I/S 1) e 18,7 mL (no controle I/S 2), conforme esperado, pois ambas as condições continham as menores massas iniciais de sólidos voláteis. Um maior volume para a condição I/S 2 também era esperado, pois esta iniciou com maior concentração de sólidos voláteis em comparação à condição I/S 1. No entanto, não se verificou uma correlação entre massa inicial de sólidos voláteis e produção de biogás.

Uma comparação entre as condições com lodo de refinaria (LR) e inóculo (C5 e C4) e os respectivos controles (somente inóculo – C3 e C2), para cada razão I/S avaliada, mostra que a adição de LR levou a uma maior produção de biogás nas duas razões I/S. Na razão I/S 1 o volume de biogás final aumentou de 1,5 para 22,7 mL, ou seja, ocorreu uma produção de biogás de 21,2 mL a partir do LR. Enquanto na razão I/S 2, o volume de biogás aumentou de 18,7 para 45,0 mL, ou seja, ocorreu uma produção de 26,3 mL de biogás a partir do LR.

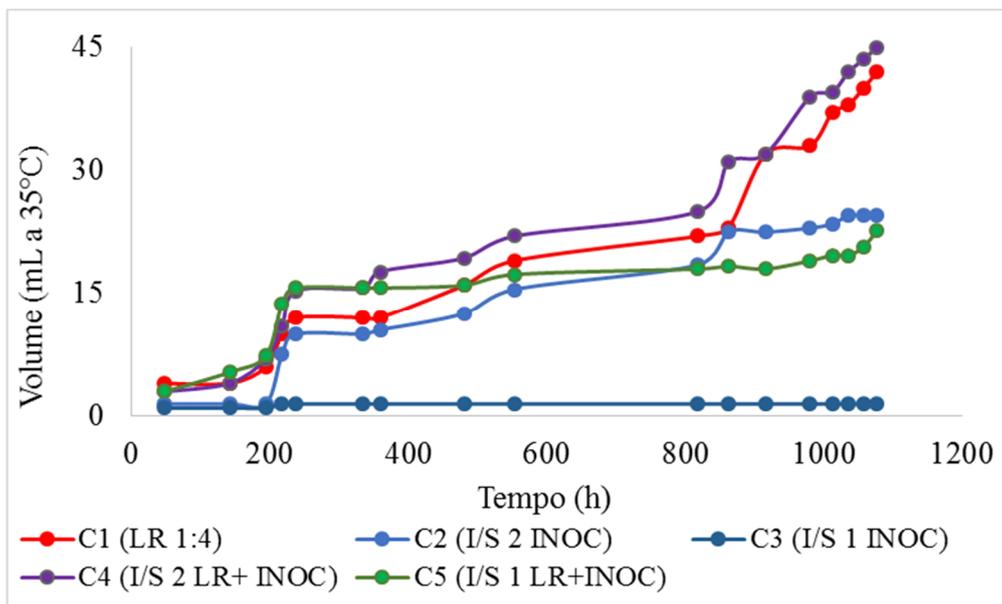


Figura 1: Volume de biogás (35 °C, 1 atm) acumulado nos ensaios de digestão anaeróbia com diferentes conteúdos de lodo de refinaria e inóculo. Fonte: Autor do Trabalho.

O resultado verificado na comparação das condições com LR e inóculo e seus respectivos controles se deve a uma maior massa inicial de sólidos voláteis empregada com a adição de LR e à sua biodegradabilidade. Do contrário, tal aumento da produção de biogás não teria ocorrido. Portanto, pode-se concluir que o LR apresenta algum grau de biodegradabilidade, primeiro requisito a ser considerado para o tratamento por digestão anaeróbia.

Uma terceira comparação pode ser feita entre as condições com LR e inóculo nas razões I/S 1 (C5) e 2 (C4), na qual se verificou que a produção de biogás praticamente dobrou, aumentando de 22,7 para 45 mL ao se aumentar a razão I/S de 1 para 2, respectivamente. Este resultado já indica que ajustes das condições ambientais podem aumentar o rendimento de biogás e, provavelmente, de metano. Mais estudos são necessários para se averiguar em que condição a digestão anaeróbia do LR seria mais eficiente, com melhores resultados em termos de produção de biogás.

Uma última comparação foi feita entre a condição com LR somente (C1) e a melhor condição de LR e inóculo (I/S 2, C4), verificando-se que apesar da curva de produção de biogás da condição com inóculo se situar sempre acima da curva obtida com LR somente, ao se considerar os desvios padrões de ambas as condições (valores de DP de 0,7 a 8,6% foram observados em todas as condições estudadas), pode-se estimar que praticamente não há diferença entre estas duas condições. Tal resultado indica que, embora o controle I/S 2 tenha apresentado melhor resultado que o controle I/S 1, no LR estão presentes microrganismos anaeróbios que iniciam o processo de degradação, não sendo necessária a adição de inóculo contendo tais microrganismos. No entanto, mais estudos são necessários para confirmar a necessidade ou não de inóculo e que efeitos esta adição teria na cinética de degradação do LR. Outra observação é a de que ambas as condições apresentaram a mesma duração de fase *lag*, só se observando produção de biogás após cerca de 5 dias de incubação.

Mais importante que a produção máxima de biogás é a estabilização do resíduo, medida como redução dos sólidos voláteis, e a produção específica de biogás (PEB). Os resultados destes e outros parâmetros monitorados na digestão anaeróbia das diferentes condições estudadas são apresentados na Tabela 3.

Seguindo a mesma ordem de comparação adotada para a produção de biogás, verifica-se que os frascos controle (contendo somente lodo anaeróbio empregado como inóculo) apresentaram os menores valores de remoção de sólidos voláteis (SV): 18,7% (no controle I/S 1) e 15,6% (no controle I/S 2). A remoção de SV do controle I/S 1 é muito maior do que poderia ser obtida de acordo com o volume de biogás medido (apenas 1,5 mL). Provavelmente houve vazamento do biogás produzido, pois este deveria apresentar volume muito maior, em comparação com a remoção de SV obtida. Com relação à remoção de SV, pode-se dizer que a massa de inóculo afeta muito pouco.

Tabela 3. Resultados dos ensaios de digestão anaeróbia com diferentes conteúdos de lodo de refinaria e inóculo.

Condição	Volume Biogás (mL)	pH final	AGV/ Alc.	SV aplic. (g)	SV final (g)	Remoção SV (%)	PEB (mL biogás/g SV aplic.)
C1 - LR	42,0±0,0	7,1	0,51	1,09	0,89	18,7	38,5
C2 - Controle I/S 2	18,7±11,5	7,0	0,39	0,77	0,65	15,6	24,3
C3 - Controle I/S 1	1,5±0,7	7,0	0,39	0,64	0,52	18,7	2,3
C4 - LR + I (I/S 2)	45,0±7,1	7,0	0,30	1,16	0,89	23,3	38,8
C5 - LR + I (I/S 1)	22,7±8,6	7,0	0,24	1,14	0,96	16,4	19,8

Volume de biogás a 35°C e 1 atm. Fonte: Autor do trabalho.

Uma comparação da remoção de SV entre as condições com LR e inóculo nas razões I/S 1 (C5) e 2 (C4) revela que, novamente, a condição com LR e inóculo e razão I/S 2 (C4) apresentou melhor resultado, com a maior remoção de SV (23,3%). No entanto, o valor obtido é próximo à condição com LR somente (C1 – 18,7%), ambos condizentes com a produção de biogás observada.

Apesar de compatíveis com os volumes de biogás produzido, as remoções de SV são baixas, em comparação com valores obtidos para lodo de esgoto, por exemplo, que geralmente variam entre 50 e 65% em digestores de alta taxa (METCALF e EDDY, 2003). O que já era esperado, considerando a composição mais complexa e concentrações residuais de hidrocarbonetos e metais presentes no lodo de refinaria (Tabela 2), além da digestão anaeróbia ter sido em condições ainda não otimizadas.

Com relação à PEB (mL biogás/g SV aplicados), a mesma comparação com o volume de biogás produzido se repete, com as condições com LR e inóculo e razão I/S 2 e somente lodo de refinaria com valores maiores e praticamente iguais (Tabela 3). À exceção da condição C3 (controle I/S 1), na qual pode ter havido vazamento de biogás, levando a um valor de PEB muito baixo, todas as demais apresentam valores compatíveis com a remoção de SV. No entanto, ainda são valores muito baixos, em comparação com valores obtidos na digestão de lodo de esgoto, por exemplo. Digestores anaeróbios de lodo de esgoto produzem cerca de 800 mL biogás/g SV removidos (ANDREOLI et al., 2014).

O pH, ajustado para $7,0 \pm 0,2$ no início, se manteve ao final do experimento, apresentando valores de 7,0-7,1. Enquanto a concentração de ácidos graxos voláteis (AGV) diminuiu em todas as condições, mantendo a relação AGV/Alcalinidade (AGV/Alc) em valores adequados para a digestão anaeróbia, próximos ou menores que 0,5 (CHERNICHARO, 2007).

Na Figura 2 é apresentada a Matriz SWOT da digestão anaeróbia com base em dados da literatura. Pode-se observar que o processo de digestão anaeróbia apresenta mais vantagens, força e oportunidades, que desvantagens. Dentre as forças destaca-se a produção de biogás, que após purificação pode ser usado diretamente para aquecimento ou na conversão de energia. Em muitos casos, esta produção de biogás é o que viabiliza a digestão anaeróbia, pois esta tem um custo inicial elevado, com principalmente com a energia gasta para aquecimento antes de começar a utilizar o biogás e com os custos dos reatores, uma fraqueza. Mas, no decorrer de sua operação, este custo se reduz, uma vez que não tem gastos com energia. Em alguns casos, a energia excedente pode ser injetada na rede de gás natural e ter sua comercialização como energia renovável, sendo uma importante oportunidade (ADAR et al., 2016; AICH e GHOSH, 2016; ANDREOLI et al., 2014; FOLADORI et al., 2010; METCALF e EDDY, 2003; THI et al., 2016).

Os cruzamentos dos fatores internos com os externos determinam os diferentes quadrantes que têm significados distintos e importantes. Segundo Tachizawa e Freitas (2004) apud Fernandes (2012), a digestão anaeróbia se encontraria no quadrante I, isto é, majoritariamente tem forças e oportunidades. O resultado encontrado pelos autores também foi observado neste estudo, que indica a existência de ação ofensiva, ou seja, as forças podem ajudar a aproveitar as oportunidades do mercado, correspondendo a uma técnica de tratamento desenvolvida e indicada para os resíduos do ponto de vista sustentável.

Comparando os fatores obtidos na análise SWOT com os resultados obtidos na etapa experimental, pode-se observar diferenças dentre alguns dos fatores. Nas forças, a remoção de SV foi mais baixa do que usualmente é encontrado, porém se dá pelo tipo de resíduo; nas fraquezas, pode-se dizer que para estes resultados não houve um grande controle operacional, sendo basicamente a temperatura, factível em indústrias. Ainda mais considerando a produção de biogás, que foi confirmada e poderia ser usada para aquecimento em escala industrial.

		Fatores Positivos	Fatores Negativos
		Forças	Fraquezas
Fatores Internos		<ol style="list-style-type: none"> 1. Produção de Biogás (ANDREOLI, 2014; METCALF & EDDY, 2003) 2. Tecnologia Madura (ADAR, 2016; ANDREOLI, 2014; THI <i>et al</i>, 2016) 3. Redução do odor do digerido (ANDREOLI, 2014; METCALF & EDDY, 2003) 4. Não precisa de secagem ou desidratação posterior (ADAR, 2016) 5. Reduz a carga orgânica em até 65% (ADAR, 2016; ANDREOLI, 2014) 6. Ocupa pequenas áreas (CHERNICHARO, 2007) 7. Pode suprir a demanda energética ao longo do processo (ADAR, 2016) 8. Redução de patógenos (ANDREOLI, 2014; FOLADORI, 2010) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Produtos gerados necessitam de pós tratamento ou purificação (ADAR, 2016; ANDREOLI, 2014; THI <i>et al</i>, 2016) 2. Alto controle operacional (ANDREOLI, 2014; CHERNICHARO, 2007; METCALF & EDDY, 2003) 3. Custo inicial alto (ADAR, 2016; ; METCALF & EDDY, 2003) 4. Entrada de energia inicial para o aquecimento (ADAR, 2016; FOLADORI, 2010) 5. Tempo de operação longo (METCALF & EDDY, 2003)
		Oportunidades	Ameaças
Fatores Externos		<ol style="list-style-type: none"> 1. Possível comercialização do biogás (ADAR, 2016; THI <i>et al</i>, 2016) 2. Digerido pode ser usado para melhorias nos solos (THI <i>et al</i>, 2016; ADAR, 2016; METCALF & EDDY, 2003) 3. Credito de Carbono (ADAR, 2016; THI <i>et al</i>, 2016) 4. Reduz massa e volume de resíduo e os custos com a disposição final (ANDREOLI, 2014; FOLADORI, 2010; METCALF & EDDY, 2003) 5. Aceita combinações de resíduos – codigestão (FOLADORI, 2010) 6. Incentivos da legislação internacional (AICH & GHOSH, 2016) 7. Não há restrições de localização (AICH & GHOSH, 2016) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Depende muito do fluxo de material de entrada no processo (AICH & GHOSH, 2016; METCALF & EDDY, 2003; THI <i>et al</i>, 2016) 2. Limitado pelas condições climáticas (ADAR, 2016; AICH & GHOSH, 2016) 3. Não há legislação específica para uso dos digestores (THI <i>et al</i>, 2016) 4. Riscos de vazamento de gás e explosão (ANDREOLI, 2014)

Figura 2: Matriz SWOT da digestão anaeróbia. Fonte: Autor do Trabalho.

Considerando oportunidades e ameaças, pouco pode-se afirmar aplicando a análise experimental como comparativo, visto que são fatores externos ao processo. Mas de acordo com os resultados pode-se ver que uma das oportunidades não foi confirmada, a redução de massa e volume do resíduo a ser disposta, pois seus SV, a forma como são quantificados os sólidos, não foram bem reduzidos.

No entanto, todos os fatores anteriormente descritos como não concordantes entre a matriz teórica e a parte experimental confirmam uma importante ameaça, a alta dependência do fluxo de entrada de material, ou seja, os problemas ocorridos na parte experimental provavelmente se devem à matéria orgânica em digestão e aos ajustes necessários na metodologia, precisando-se de mais estudos para comprovar esta teoria.

Pretende-se realizar mais experimentos, com mais réplicas, a fim de reduzir os desvios-padrão e obter maior confiabilidade nos resultados, analisar o conteúdo de metano no biogás e otimizar a digestão anaeróbia para este tipo de resíduo. Pretende-se também traçar um paralelo com outras técnicas para este resíduo através da análise SWOT e utilizar ferramentas de gestão adicionais para ponderar quantitativamente os critérios obtidos na SWOT.

CONCLUSÕES

Pode-se concluir, com base nos resultados obtidos, que o lodo de refinaria apresentou produção de biogás superior à do inóculo nas duas razões I/S avaliadas. Com redução de SV pouco maior, a condição com adição de inóculo na razão I/S 2 seria a melhor condição para digestão anaeróbia do lodo de refinaria.

Nem todas as forças, fraquezas, oportunidades e ameaças da digestão anaeróbia de um modo geral puderam ser observadas nos testes com lodo de refinaria. Por outro lado, como se trata de uma técnica já estabelecida, algumas de suas vantagens podem ser atingidas após ajustes na metodologia. Ainda, sua principal força, a produção de biogás, foi observada de forma favorável indo ao encontro do objetivo deste estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ADAR, E.; KARATOP, B.; İNCE, M.; BILGILI, M.S. **Comparison of methods for sustainable energy management with sewage sludge in Turkey based on SWOT-FAHP analysis**. Renewable and Sustainable Energy Reviews. v. 62. p. 429–440, 2016.
2. AICH, A.; GHOSH, S.K. **Application of SWOT analysis for the selection of technology for processing and disposal of MSW**. Procedia Environmental Sciences. v.35. p. 209-228, 2016.
3. ANDREOLI, C.V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. **Lodo de Esgotos: Tratamento e Disposição Final**. 2ª Ed. Belo Horizonte: EDITORA UFMG, 2014.
4. APHA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 22ª Ed. Washington: AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION, WATER ENVIRONMENT FEDERATION, 2012.
5. BAHADORI, A. **Waste Management in the Chemical and Petroleum Industries**. United Kingdom: WILEY, 2014.
6. CHERNICHARO, C.A.L. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias: Reatores Anaeróbios**. 2ª. Ed. Belo Horizonte: DESA-UFMG, 2007.
7. FERNANDES, D.R. **Uma visão sobre a análise da Matriz SWOT como ferramenta para elaboração da estratégia**. Londrina: UNOPAR CIENTÍFICA CIÊNCIAS JURÍDICAS E EMPRESARIAIS, v.13, n.2, p. 57-68, 2012.
8. FERRELL, O.C.; HARTLINES, M.D. **Estratégia de Marketing**. 5ª. ed. Santa Fe: CENGAGE LEARNING EDITORES S.A., 2012.
9. FOLADORI, P.; ANDREOTTOLA, G.; ZIGLIO, G. **Sludge Reduction Technologies in Wastewater Treatment Plants**. London: IWA PUBLISHING, 2010.
10. MARIANO, J.B. **Impactos Ambientais do Refino do Petróleo**. 1ª. ed. Rio de Janeiro: INTERCIÊNCIA, 2005.
11. MATA-ALVAREZ, J.; DOSTA, J.; ROMERO-GÜIZA, M.S.; FONOLL, X.; PECES, M.; ASTALS, S. **A critical review on anaerobic co-digestion achievements between 2010 and 2013**. Renewable and Sustainable Energy Reviews. v. 36, p. 412–427, 2014.
12. METCALF & EDDY. **Wastewater Engineering: Treatment and Reuse**. 4ª ed. New York: MCGRAW-HILL EDUCATION, 2003.
13. SILVEIRA, N. C. **Codigestão do lodo de esgoto e fração orgânica de resíduo de restaurante**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, 124f. Rio de Janeiro: UFRJ, 2016.
14. THI, N.B.D.; LIN, C.; KUMAR, G. **Waste-to-wealth for valorization of food waste to hydrogen and methane towards creating a sustainable ideal source of bioenergy**. Journal of Cleaner Production. v. 122. p. 29-41, 2016.
15. WANG, X., YANG, G., FENG, Y., REN, G. & HAN, X. **Optimizing feeding composition and carbon-nitrogen ratios for improved methane yield during anaerobic co-digestion of dairy, chicken manure and wheat straw**. Bioresource technology. v. 120 p. 78–83, 2012.