

REDUÇÃO DAS CARGAS ORGÂNICAS DE BIOMASSAS RESIDUAIS DE UMA INDÚSTRIA ALIMENTÍCIA POR MEIO DE TRATAMENTO ANAERÓBIO

DOI:10.19177/rgsa.v7e22018465-483

**Camila Hasan¹, Letícia Cristina Soares Leite²,
Rafaela Bellin Pallaoro³, Fernanda Mallmann¹¹,
Renata Pellin Vicinieski¹², Lucélia Hoehne¹³, Odorico Konrad²¹**

RESUMO

A adoção de técnicas de tratamento de efluentes é essencial para que o setor agroindustrial, amplamente desenvolvido no Brasil, seja sustentado e ampliado considerando os impactos de suas atividades e as limitações ambientais existentes. O presente estudo caracterizou biomassas residuais de uma indústria alimentícia, objetivando monitorar parâmetros de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO_5), Demanda Química de Oxigênio (DQO) e a relação entre estes, para identificar a biodegradabilidade de amostras submetidas ao processo de digestão anaeróbia. O intuito foi avaliar a eficiência na remoção das cargas orgânicas, expressas sob a forma de DQO e DBO_5 , por meio de sua conversão em biogás. Os resultados apresentaram valores na relação DQO/DBO_5 menores que 2,5 indicando biodegradabilidade das amostras e, portanto, o tratamento biológico foi considerado adequado. Os percentuais de remoção de DQO e DBO nas amostras variaram de 53,0 a 68,6% e 84,0 a 94,8% respectivamente, demonstrando eficiência no tratamento adotado e resultando em um rendimento médio de $0,22 \text{ L}_{\text{Biogás}} \cdot \text{g}^{-1}_{\text{DQO}}$ e teor médio de metano de 68,5%.

Palavras-chave: Biodegradabilidade. Biogás. Biodigestão. Energia Renovável.

¹ Engenheira Ambiental; Mestranda em Ambiente e Desenvolvimento (PPGAD). Universidade do Vale do Taquari – UNIVATES. E-mail: chasan@universo.univates.br

² Graduanda em Engenharia Química vinculada ao Laboratório de Biorreatores da UNIVATES. Universidade do Vale do Taquari – UNIVATES. E-mail: leticia.leite@univates.br

³ Graduanda em Engenharia Química; Bolsista IC do Laboratório de Biorreatores da UNIVATES. Universidade do Vale do Taquari – UNIVATES. E-mail: rafaela.pallaoro@univates.br

¹¹ Graduanda em Engenharia Ambiental; Bolsista IC do Laboratório de Biorreatores da UNIVATES. Universidade do Vale do Taquari – UNIVATES. E-mail: fmallmann2@univates.br

¹² Graduanda em Engenharia Química; Bolsista IC do Laboratório de Biorreatores da UNIVATES. Universidade do Vale do Taquari – UNIVATES. E-mail: renata.vicinieski@universo.univates.br

¹³ Doutora em Química (UFSM); Professora do Programa de Pós-Graduação Mestrado e Doutorado em Biotecnologia da UNIVATES. *Universidade do Vale do Taquari – UNIVATES. E-mail: luceliah@univates.br*

²¹ Doutor em Engenharia Ambiental e Sanitária (Universidade de Leoben - Áustria); Professor do Programa de Pós-Graduação Mestrado e Doutorado em Ambiente e Desenvolvimento da UNIVATES. Universidade do Vale do Taquari – UNIVATES. E-mail: okonrad@univates.br

1 INTRODUÇÃO

Garantir a sustentabilidade de uma atividade produtiva, considerando o equilíbrio entre os pilares econômico, social e ambiental, tem sido um dos maiores desafios para o setor industrial, principalmente, em função dos modelos tradicionais de progresso que ainda induzem a um consumo excessivo de recursos naturais, resultando, entre outros impactos, na produção de significativas quantidades de resíduos. Para manter o crescimento, no cenário industrial brasileiro, as empresas precisam se tornar mais competitivas mantendo-se dentro da lógica do desenvolvimento sustentável que inclui, dentre tantas obrigações, o respeito às legislações sobre a correta destinação e tratamento dos resíduos industriais (PIRES; SILVA, 2016).

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) em sua Resolução nº 001/1986, define impacto ambiental como sendo *“qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas”*, neste sentido é dever de todos promover ações que evitem ou minimizem estes impactos (BRASIL, 1986). Desde que se deram as concepções acerca da conscientização ambiental, iniciaram-se estudos com o intuito de buscar possíveis alternativas para a redução do ritmo da degradação do meio ambiente a partir da minimização de impactos. Assim, construiu-se uma nova perspectiva sobre a relação entre desenvolvimento econômico e meio ambiente, caracterizada pela compreensão do esgotamento dos recursos naturais a partir do crescimento da atividade econômica (THEIS; SCHREIBER, 2015) e, portanto, incluindo restrições a esse crescimento.

Toda atividade produtiva, além de gerar produtos finais, gera também um grande volume de resíduos na forma de efluentes. A indústria alimentícia, como

qualquer outra indústria, causa impactos ao ambiente, estando estes vinculados, em sua maioria, à grande quantidade e diversidade de resíduos que podem ser encontrados na forma de efluentes líquidos, sólidos ou gasosos (ARCHETI, 2001). Dessa forma, o aumento na escala de produção estimula a exploração dos recursos naturais e eleva a quantidade de resíduos (BARBIERI, 2007) tornando indispensável a adoção de técnicas para tratamento e disposição final destes. Investimentos que antes não eram considerados estão sendo priorizados pelas empresas de todos os setores econômicos, mesmo que o retorno não seja elevado no curto prazo, como é o caso dos investimentos na área ambiental (PEREIRA et al., 2015).

Os resíduos e subprodutos agrícolas, agroindustriais e florestais são extremamente abundantes em um país como o Brasil. Estes, apresentam, em suas composições, diferentes constituintes que oportunizam a agregação de valor pela aplicação do conceito de biorrefinaria, definido por integrar processos de conversão de biomassa na produção de combustíveis, eletricidade e calor (ROSA et al., 2011). A conversão dessa biomassa disponível em produtos de valor comercial pode, além de contribuir para a remoção de poluentes ambientais, trazer dividendos à economia (PIROTA et al., 2015).

Segundo Dal Soler (2012), a Região Sul do Brasil se destaca nas atividades do ramo da produção alimentícia, com ênfase na criação de animais para abate e processamento. O Vale do Taquari, localizado no interior do Rio Grande do Sul (RS), concentra parcela significativa da produção suína do Estado (criação e abate), sendo esta atividade fundamentada no sistema de integração verticalizada e com grande importância econômica, entretanto, geradora de grandes volumes de dejetos.

Dentre as alternativas de processamento de resíduos orgânicos, a biodigestão anaeróbia apresenta-se como uma rota atrativa por gerar subprodutos que podem agregar valor e tratar parcialmente os resíduos, mitigando impactos ambientais (GLATZ; MIAO; RODDA, 2011). A biodigestão anaeróbia, também identificada como biogásificação ou biometanização, é uma das técnicas de conversão energética da biomassa que ocorre por meio de processos naturais de fermentação. Estes processos decorrem da ação de microrganismos anaeróbios, que degradam a matéria orgânica, e produzem o biogás, sendo este passível de

utilização como fonte de energia em queimadores, em motores geradores ou ainda como biocombustível veicular (XAVIER; LUCAS JÚNIOR, 2010).

As Estações de Tratamento de Efluentes (ETE), conforme suas configurações de projeto, utilizam reatores anaeróbios para o tratamento de biossólidos e geração de biogás. Neste sentido, existem oportunidades para utilizar a capacidade destes reatores e codigerir resíduos alimentícios e lodos promovendo a recuperação de energia e uma série de outros benefícios econômicos e ambientais (NGHIEM et al., 2017).

O interesse na biodigestão anaeróbia como um processo de tratamento de materiais orgânicos e uma opção energética com reconhecida vantagem ambiental, reside na conversão da maior parte da carga poluente do efluente em uma fonte de energia: o biogás, sendo este um dos benefícios do processo, que o consolida como uma tecnologia disponível para aplicação (OLIVEIRA et al., 2011). Gomes e Cappi (2011), afirmam que o emprego da biodigestão anaeróbia como tratamento primário na estabilização de efluentes com altas cargas orgânicas tem como função principal a degradação da matéria orgânica.

A análise de Demanda Química de Oxigênio (DQO) é um parâmetro utilizado como indicador da concentração de matéria orgânica presente em águas naturais ou residuárias, através da estimativa da quantidade de oxigênio necessária para a degradação química das amostras avaliadas, sendo muito utilizada no monitoramento de estações de tratamento para a avaliação da contaminação dos efluentes industriais (BADO; PERCIO; LINDINO, 2013). Em processos de digestão anaeróbia a DQO é monitorada como um parâmetro de avaliação da estabilização da matéria orgânica. Quanto maior a eficiência de sua remoção, maior será a degradação da biomassa (SGORLON et al., 2011).

Segundo a Agência Nacional das Águas (2015), a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO_5) representa a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica presente em determinado efluente através da decomposição microbiana aeróbia. A DBO_5 é a quantidade de oxigênio consumido durante 5 dias em uma temperatura de 20°C.

O tratamento de efluentes de indústrias alimentícias gera lodos ricos em matéria orgânica, micro e macronutrientes (WAGNER; PEDROSO, 2014), estes

R. gest. sust. ambient., Florianópolis, v. 7, n. 2, p.465-483, abr./jun. 2018.

podem ser aproveitados na digestão anaeróbia, com viés de recuperação energética, para a geração de biogás, visto que o tratamento de lodos de ETE tem sido discutido mundialmente como parte integrante do processo e como alternativa à minimização de impactos ambientais decorrentes da sua disposição em solos (ZHEN et al., 2017).

A aplicação de resíduos orgânicos no solo é uma alternativa viável para reduzir o impacto ambiental de muitos resíduos industriais, sendo um método amplamente empregado pelas indústrias dos mais diversos ramos, como uma forma de disposição final de lodos orgânicos (SEGATTO et al., 2012). Deste modo, essa prática considera o resíduo como um insumo potencial que, se bem manejado, beneficia as propriedades dos solos e favorece o desenvolvimento de plantas.

Segatto (2001), apud Joaquim et al. (2007), alerta para a variação na composição química dos materiais orgânicos de acordo com a natureza do resíduo e com o tipo de tratamento do qual o efluente é resultante e, nos casos de resíduos industriais, o tipo de atividade que o gerou. Assim, a taxa a ser aplicada em solo deve ser condicionada à composição do resíduo. Em virtude dos grandes volumes de resíduos orgânicos gerados pelas indústrias e, considerando os custos e as dificuldades relacionadas às extensões de terras necessárias para absorção destes volumes, tratar os lodos, reduzindo sua carga orgânica e obtendo-se um subproduto com valor agregado (biogás), além de resultar em benefícios econômicos, contribui para a minimização de impactos no solo ampliando sua capacidade de assimilação e vida útil para absorção de efluentes.

Com base nisto, o presente trabalho teve o objetivo de fazer uma análise técnica do tratamento de biomassas residuais e da produção de biogás, sintetizada a partir da codigestão anaeróbia destes substratos, oriundos das atividades produtivas de uma indústria do ramo alimentício. Dentre as biomassas residuais avaliadas incluíram-se lodos de Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) de três unidades produtivas da indústria, além de dejetos oriundos da criação de suínos pelo sistema integrado. Além disso, foi avaliada a eficiência da remoção das cargas de DQO e DBO₅ pelo tratamento anaeróbio, quantificando o potencial energético das amostras a partir da identificação da produção de biogás e metano destas.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Os experimentos de digestão anaeróbia e as análises físico-químicas utilizadas para a caracterização das biomassas, foram conduzidas no Laboratório de Biorreatores da Univates, Lajeado, Rio Grande do Sul, Brasil.

2.1 Biomassas residuais

Para os ensaios de codigestão anaeróbia foi utilizada uma mistura de biomassas residuais, provenientes de Estações de Tratamento de Efluentes das Unidades Produtivas (UP) da indústria, Dejeito Suíno (DS) oriundo de uma das Unidades Produtoras de Leitões (UPL) de domínio da mesma e, Sangue - um resíduo obtido a partir do processamento de carnes – principal atividade desenvolvida pela indústria. Na Tabela 1, estão identificadas as biomassas residuais utilizadas nos ensaios de digestão anaeróbia, sua origem e representatividade, em termos de quantidade mensal gerada.

Tabela 1 – Identificação e quantificação das biomassas residuais oriundas da indústria alimentícia

Biomassa Residual e Origem	Quantidade Gerada (ton/mês)	%
Lodo Flotado Frigorífico de Suínos (LFFS)	653	31,95
Lodo Ativado Desidratado Frigorífico de Suínos (LADFS)	18	0,88
Sangue Frigorífico de Suínos (SFS)	172	8,42
Lodo Flotado Laticínios (LFL)	183	8,95
Lodo Ativado Laticínios (LAL)	183	8,95
Lodo Flotado e Ativado Frigorífico de Aves (LFAFA)	625	30,58
Sangue Frigorífico de Aves (SFA)	210	10,27
Total	2.044	100

Fonte: Banco de Dados da Indústria investigada, 2015.

2.2 Inóculo microbiano

A função do inóculo em experimentos de digestão anaeróbia é fornecer microrganismos para facilitar e agilizar o processo. Com este intuito, foi preparado e utilizada uma alíquota de inóculo microbiano em cada reator. Este constituiu-se de um digestato preparado em Laboratório, a partir da digestão anaeróbia de dejetos suíno alimentado com parcela das biomassas integrantes das misturas, que foram inoculadas posteriormente. O inóculo foi preparado 21 dias antes da data de início dos experimentos, em quantidade suficiente para compor em 30% (180 mL) do volume útil dos reatores (600 mL) utilizados nos ensaios, sendo considerado apto para utilização no experimento quando o volume diário de biogás obtido pelo reator de 10 L foi inferior a 1% do volume total acumulado, com base em critério estabelecido pela VDI 4630 (2006). Ressalta-se que o teor de metano identificado no biogás produzido neste momento ultrapassava 75%, indicando a presença de microbiota específica responsável pela produção de metano na digestão anaeróbia (arqueas metanogênicas), favorecendo a sua utilização como inóculo.

2.3 Composição das amostras inoculadas

As amostras avaliadas nos testes de codigestão anaeróbia foram compostas pela mistura das biomassas citadas na Tabela 1, sendo preparados 10 litros desta mistura, respeitando-se os percentuais de geração, ilustrado na tabela, referente à representatividade de cada substrato para a indústria. A inclusão do dejetos suíno teve sua participação percentual fixada com base no volume final de amostra introduzida nos reatores (420 mL). Acrescentou-se o dejetos suíno em 5 amostras, variando o seu percentual de participação, com o intuito de avaliar sua ação como um catalisador do processo de digestão anaeróbia e diluição da mistura de biomassas residuais, composta por lodos e sangue (ricos em matéria orgânica e gorduras).

Considerando que os reatores com capacidade de 1000 mL foram preenchidos com 600 mL de substratos, 30% deste volume (180 mL) corresponderam ao inóculo microbiano e 70% (420 mL) corresponderam à mistura de biomassas e dejetos suínos. Em relação aos 420 mL, a composição das triplicadas de amostras inoculadas ficou caracterizada da seguinte forma:

R. gest. sust. ambient., Florianópolis, v. 7, n. 2, p.465-483, abr./jun. 2018.

- Amostra 1: 0% de Dejetto Suíno e 100% da Mistura de lodos e sangue (420 mL);
Amostra 2: 10% de Dejetto Suíno (42 mL) e 90% da Mistura de lodos e sangue (378 mL);
Amostra 3: 20% de Dejetto Suíno (84 mL) e 80% da Mistura de lodos e sangue (336 mL);
Amostra 4: 30% de Dejetto Suíno (126 mL) e 70% da Mistura de lodos e sangue (294 mL);
Amostra 5: 40% de Dejetto Suíno (168 mL) e 60% da Mistura de lodos e sangue (252 mL);
Amostra 6: 50% de Dejetto Suíno (210 mL) e 50% da Mistura de lodos e sangue (210 mL).

2.4 Ensaios de codigestão anaeróbia

A pesquisa foi realizada em escala laboratorial e operada em batelada, que consiste na adição da matéria orgânica no reator de uma só vez, utilizando-se reatores de vidro com capacidade de 1000 mL, preenchidos com 600 mL de substratos, e mantidos em temperatura mesofílica (35 °C) em uma incubadora bacteriológica adaptada. Os reatores foram fechados hermeticamente impedindo-se a entrada de oxigênio e permitindo-se assim a digestão anaeróbia da matéria orgânica disponibilizada. O experimento foi consolidado quando a produção de biogás decaiu, indicando que a matéria orgânica havia sido decomposta e que poderia ser feita a retirada da matéria restante, denominada biofertilizante (NETO et al., 2010).

Como critério para a finalização do experimento adotou-se o indicado pela norma alemã VDI 4630 (2006), encerrando-se os experimentos quando o volume diário de biogás produzido nos reatores foi menor que 1% do total acumulado, por pelo menos três dias consecutivos.

2.5 Monitoramento e análises

O biogás gerado em cada reator foi conduzido até o sistema automatizado de medição de biogás responsável por quantificar os volumes de biogás produzidos em escala laboratorial no Laboratório de Biorreatores e descrito por KONRAD et al, 2016. Os registros armazenados na memória do sistema foram acessados diariamente e exportados para planilhas de controle, possibilitando avaliações mais completas.

O teor de metano (CH₄) presente no biogás foi avaliado através de um sensor específico (Advanced Gasmitter), produzido pela PRONOVA Analysentechnik GmbH & Co e calibrado com gás padrão composto por 60,01% de CH₄. Este analisador, composto por sensor infravermelho, detecta o metano na mistura gasosa e apresenta os dados em percentual. Estes dados, quando combinados com os valores volumétricos de biogás fornecidos pelo sistema automatizado, permitem o cálculo e a identificação dos volumes de metano produzidos.

Para avaliar o potencial de biodegradabilidade das amostras realizou-se análises de DQO e DBO₅. Estas relacionam-se às frações de matéria orgânica química e biologicamente degradáveis, respectivamente, ou ainda às frações de difícil e de fácil degradação. A análise de DQO foi realizada pelo método 5220 C de refluxo fechado (APHA, 2005) e a DBO₅ pelo método manométrico via Oxitop® (WTW, 2008) das amostras pré e pós digestão anaeróbia.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Relevância do trabalho

O tratamento de efluentes, de modo geral, utiliza processos físico-químicos e biológicos com o objetivo de separar compostos orgânicos e inorgânicos da água. O lodo é o principal subproduto do tratamento de efluentes e, quando advindo de indústrias alimentícias, é, normalmente, rico em matéria orgânica. As biomassas residuais utilizadas para os testes, representavam para a indústria alimentícia em 2015, uma geração total mensal de aproximadamente 2.044 toneladas correspondentes aos lodos das estações de tratamento de efluentes de três Unidades Produtivas e subprodutos de processos produtivos, que demandam uma disposição final adequada. E se esta ainda puder agregar algum valor aos resíduos, mais adequada e viável pode se tornar.

R. gest. sust. ambient., Florianópolis, v. 7, n. 2, p.465-483, abr./jun. 2018.

Além das biomassas geradas diretamente nas Unidades Produtivas, a indústria gera e é corresponsável pela geração de grande quantidade de dejetos suínos oriundos do sistema integrado de produção, operacionalizado por produtores rurais (associados) que fornecem a matéria prima (suínos) para processamento pela indústria. A quantidade mensal de dejetos ultrapassa 30.000 toneladas/mês. Em função disso o dejetos suíno foi incorporado à mistura de lodos e sangue, com participação em diferentes percentuais, possibilitando avaliações sobre a sua influência no processo de digestão anaeróbia e nas produções de biogás e metano.

Com exceção do sangue e do lodo desidratado, as demais biomassas possuíam como método adotado para a sua disposição final, o lançamento em solo agrícola e, portanto, reconhecendo que os lodos são subprodutos ricos em matéria orgânica, a sua inserção em um biodigestor anaeróbio antes da disposição em solo acarretaria na redução de impactos ambientais relacionados à carga orgânica lançada, bem como, na melhoria do digestato, o que o caracterizaria como um biofertilizante de melhor qualidade para ser aplicado em solos.

3.2 Caracterização das biomassas e das amostras pré e pós-digestão anaeróbia

Para verificar a eficiência do tratamento anaeróbio na redução de cargas orgânicas, os lodos utilizados nos experimentos foram caracterizados inicialmente quanto a esses dois parâmetros (Tabela 2), analisando-se também a sua relação DQO/DBO. Segundo Von Sperling (2005), a relação DQO/DBO é um indicativo da biodegradabilidade de efluentes e do método de tratamento a ser utilizado de acordo. Valores baixos desta relação, ou seja, menores que 2,5, indicam que o efluente possui caráter de biodegradabilidade elevado e que, portanto, tratamentos biológicos são recomendados.

Tabela 2 – Caracterização das biomassas

Biomassa	DQO (mg/L)	DBO (mg/L)	Relação DQO/DBO
	Média e Desvio Padrão	Média e Desvio Padrão	
Lodo Flotado (LFFS)	139.877 (±5.205)	52.500 (±707)	2,66
Lodo Ativado Desidratado (LADFS)	142.086	56.000	2,53

R. gest. sust. ambient., Florianópolis, v. 7, n. 2, p.465-483, abr./jun. 2018.

	(±2.082)	(±707)	
Sangue (SFS)	211.288 (±0,00)	98.000 (±0,00)	2,15
Lodo Flotado Laticínio (LFL)	94.601 (±1.041)	40.000 (±2.828)	2,37
Lodo Ativado Laticínio (LAL)	5.301 (±104)	1.400 (±0,00)	3,79
Lodo Flotado e Ativado (LFAFA)	98.466 (±3.383)	59.000 (±1414)	1,67
Sangue (SFA)	193.620 (±0,00)	92.000 (±0,00)	2,10
Dejeto Suíno UPL	53.115 (±8.902)	15.000 (±1.414)	3,54

Fonte: Pesquisa aplicada

Ao analisar os resultados obtidos nas relações DQO/DBO das biomassas residuais, observa-se que os valores indicaram potencial de biodegradabilidade destas, o que é favorável ao tipo de tratamento proposto por meio da digestão anaeróbia, destacando-se apenas o dejeto suíno, o lodo ativado de laticínios e o Lodo Flotado FS com valores um pouco superiores que 2,5. Sobre esta ocorrência, Matos (2006) comenta que valores da razão DQO/DBO acima de 2,5 estão relacionados a conteúdo significativo de inertes ou material não biodegradável presentes no material analisado. No entanto, acreditou-se que estes valores acima do indicado pela literatura não tivessem grande influência quando estes materiais fossem acrescentados a uma mistura de todas as biomassas, sendo que isso foi confirmado na caracterização pré-digestão anaeróbia das amostras avaliadas (Tabela 3).

As amostras também foram caracterizadas quanto aos seus teores de DQO e DBO₅ pré e pós ensaios de digestão anaeróbia para fins de comparativos, conforme exposto na Tabela 3.

Tabela 3 – Caracterização das amostras pré e pós tratamento anaeróbio, considerando valores médios e desvio padrão

Amostra	DQO Inicial (mg/L)	DQO Final (mg/L)	Remoção DQO (%)	DBO Inicial (mg/L)	DBO Final (mg/L)	Remoção DBO (%)	Relação DQO/DBO*
0% DS	84.197 (±1.669)	35.000 (±1.767)	58,4	50.000 (±0,00)	8.000 (±2.828)	84,0	1,68
10% DS	75.426 (±3.535)	25.250 (±707)	66,5	44.000 (±2.828)	4.000 (±0,00)	90,9	1,71

R. gest. sust. ambient., Florianópolis, v. 7, n. 2, p.465-483, abr./jun. 2018.

20% DS	70.033 (±5.007)	22.000 (±1.060)	68,6	42.000 (±0,00)	2.200 (±282)	94,8	1,67
30% DS	68.852 (±1.112)	23.254 (±251)	66,2	38.000 (±2.828)	3.000 (±0,00)	92,1	1,81
40% DS	63.344 (±7.789)	28.267 (±2.063)	55,4	36.000 (±2.828)	3.000 (±0,00)	91,7	1,76
50% DS	57.443 (±3.894)	26.991 (±1.805)	53,0	28.000 (±2.828)	3.000 (±0,00)	89,3	2,05

Fonte: Pesquisa aplicada

*Relação DQO/DBO inicial

Pode-se observar que, na caracterização inicial das amostras, a maior participação do dejetos suíno nas misturas acarretou em menores valores de DQO e DBO₅. Mesmo assim, em relação à biodegradabilidade, todas apresentavam-se inicialmente na faixa de valores característica de compostos de fácil degradação, indicando adequada a adoção de tratamento biológico (VON SPERLING, 2005).

3.3 Remoções das cargas orgânicas em virtude do tratamento anaeróbio

Após o processo de codigestão anaeróbia verificou-se que os valores de remoção da DQO variaram de 53,0 a 68,6% enquanto que, para a DBO, os valores de remoção oscilaram de 84,0 a 94,8%, sendo estes valores considerados expressivos. Estudos de Rodrigues et al. (2016), ao avaliarem a eficiência nas remoções de DQO e DBO proporcionadas pelo tratamento de efluentes de um frigorífico de aves, por meio de um reator UASB, apontaram valores de remoção que também variaram, de 83 a 99% para a DBO e de 50 a 98% para a DQO. Entende-se que os valores maiores na remoção de DQO obtidos no experimento referenciando possam estar atrelados a questões metodológicas, visto que no experimento atual, empregando-se também um tratamento biológico, a remoção na DQO, em grande parte, foi consequência da remoção de DBO, sendo os valores obtidos na remoção de DQO limitados à capacidade do tipo de tratamento destinado a remover, principalmente, as frações biodegradáveis.

Com base nos resultados obtidos, é possível afirmar que o emprego da digestão anaeróbia das biomassas residuais, em escala real, acarretaria em

benefícios ambientais, decorrentes da redução das cargas poluidoras depuradas no tratamento e não diretamente no solo, ou ainda possibilitaria que a empresa fizesse a disposição dos lodos utilizando menos áreas, devido à redução na concentração das cargas orgânicas.

3.4 Produção de biogás e metano associadas à remoção de DQO e DBO

A produção de biogás no processo de digestão anaeróbia é uma consequência da degradação da matéria orgânica. Dependendo das características das biomassas e das condições oferecidas ao processo, a eficiência na quantidade e na qualidade do biogás gerado e o tempo de detenção hidráulica (TDH) podem variar. No tratamento anaeróbio avaliado foram necessários 41 dias de detenção para os ensaios com as amostras de 40% e 50% DS e 59 dias para as amostras de 0% a 30% DS. A Tabela 4 demonstra os volumes de biogás e metano produzidos nestes períodos.

Tabela 4 – Volumes de biogás e metano produzidos nos tratamentos de codigestão anaeróbia, quantidade de metano presente no volume total de biogás expressa em porcentagem (%) e rendimento de biogás obtido relacionado à quantidade de DQO adicionada

Amostra	Biogás (L)	Metano (L)	Metano (%)	Rendimento ($L_{\text{Biogás}} \cdot g^{-1}_{\text{DQO}}$)
0% DS	17,40	11,88	68,3	0,21
10% DS	18,77	13,12	69,9	0,25
20% DS	16,80	11,93	71,0	0,24
30% DS	15,77	10,85	68,8	0,23
40% DS	12,52	8,40	67,0	0,20
50% DS	12,38	8,20	66,1	0,21

Fonte: Pesquisa aplicada

A introdução de dejetos suínos, elevando-se gradativamente o seu percentual de participação em relação aos percentuais da mistura de lodos e sangue, reduziu os volumes de biogás e metano produzidos, porém contribuiu também para a redução do TDH, o que pode ser interessante para um sistema de biodigestão em escala real, cuja recuperação energética das biomassas seja o foco.

O produto do volume de biogás produzido (L) pela quantidade de DQO adicionada aos reatores (g) representa o rendimento das amostras, ilustrado na

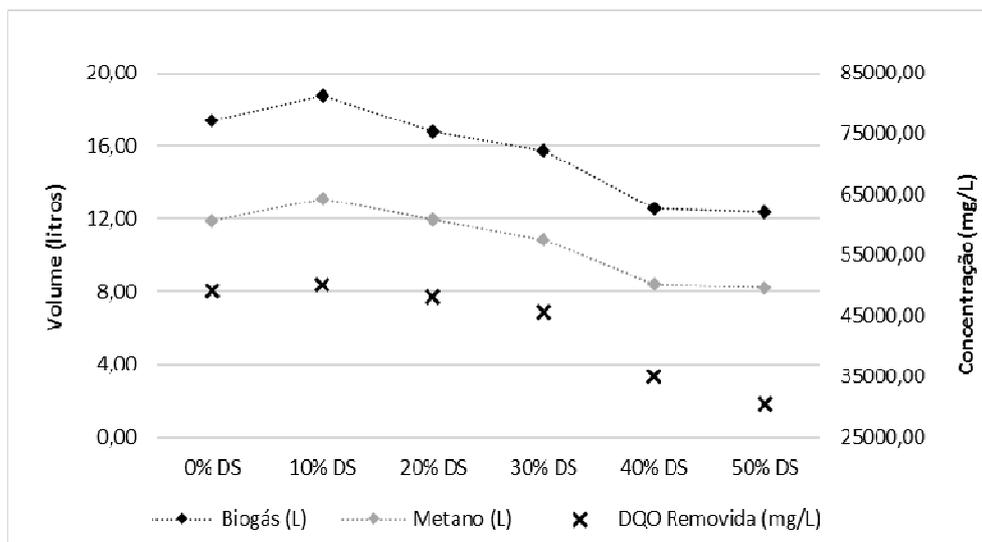
última coluna da Tabela 4. A proximidade entre os valores obtidos pelas amostras pode estar diretamente relacionada ao fato da origem das cargas de DQO adicionadas aos reatores serem as mesmas, variando-se apenas os percentuais de participação do dejetos suíno em detrimento da mistura de lodos e sangue.

Comparativamente aos valores de rendimento obtidos por Colón, Fórbis-Stokes e Deshusses (2015), onde também foi avaliada a produção de biogás relacionada à DQO, os resultados variaram entre 0,24 e 0,37 $L_{\text{Biogás}} \cdot g^{-1}_{\text{DQO}}$, em tratamentos utilizando fezes e urina, obtendo-se um rendimento máximo de 0,44 $L_{\text{Biogás}} \cdot g^{-1}_{\text{DQO}}$ e concentração de 63% de metano, em tratamentos com fezes não diluídas (sem urina) com maior concentração de sólidos totais e voláteis e menor concentração de amônia. Isso pode explicar a melhora no máximo rendimento obtido por Colón, Fórbis-Stokes e Deshusses (2015) se comparado a este estudo, uma vez que, o dejetos suíno empregado em diferentes percentuais na composição das amostras avaliadas, apresenta tipicamente, volumes de urina que resultam em altas concentrações de amônia, uma substância inibidora de microrganismos anaeróbios (STEINMETZ, 2016).

Além do dejetos, acredita-se que as demais biomassas utilizadas na mistura também continham amônia. Segundo Chernicharo (p. 91, 1997), “[...] tanto o íon amônia (NH_4^+) quanto a amônia livre (NH_3) podem se tornar inibidores. A amônia livre em concentrações acima de 150 mg/L, é tóxica aos microrganismos metanogênicos”. Considerando isso, acredita-se que os resultados de rendimentos obtidos sejam condizentes para amostras que apresentam nitrogênio na forma de amônia em sua composição.

Fazendo-se uma avaliação paralela das produções de biogás e metano obtidas com as quantidades de matéria orgânica removida (DQO), fica evidente a correlação entre estas duas informações, confirmada pelo coeficiente de *Pearson* (~0,97). Os valores de DQO removida variaram de 30.452 a 50.176 mg/L enquanto que a produção de biogás oscilou entre 12,38 a 18,77 L, com volumes de metano entre 8,20 e 13,12 L. A Figura 1 ilustra a quantidade de DQO removida (mg/L) nas amostras relacionada às produções de biogás e metano (litros) obtidas em cada uma delas.

Figura 1 – Relação entre os volumes de biogás e metano gerados e as remoções de DQO nas amostras



Fonte: Pesquisa aplicada

De toda a quantidade de DQO que entra no biodigestor, uma parcela significativa é convertida ao produto final (metano) e outra parcela fica agregada no efluente líquido ou incorpora-se a uma nova biomassa bacteriana (COLÓN; FÓRBIS-STOKES; DESHUSSES, 2015). Sobre esta constatação, Chernicharo (1997) discorre que na digestão anaeróbia, a eficiência no processo e na remoção de DQO é dependente da atividade metanogênica do substrato, relacionada à sua capacidade de transformar acetato e H_2/CO_3 em CH_4 , havendo relação estequiométrica entre a quantidade de metano formada e a fração de matéria orgânica removida, sendo que este foi o comportamento observado a partir das análises feitas.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Todas as amostras submetidas ao tratamento anaeróbio apresentaram reduções em suas cargas de DQO e DBO_5 , principalmente se comparadas às cargas iniciais dos lodos, que eram bastante elevadas e já vinham sendo dispostas no solo. Em função disso, o emprego da digestão anaeróbia dos lodos, em escala real, acarretaria em benefícios ambientais decorrentes da redução das cargas poluidoras que acabam sendo depuradas no tratamento e não diretamente no solo.

R. gest. sust. ambient., Florianópolis, v. 7, n. 2, p.465-483, abr./jun. 2018.

Além disso, todas as amostras avaliadas produziram biogás com percentuais de metano acima de 66%, o que possibilitaria o seu aproveitamento como fonte de energia, consorciando uma solução ambiental com um benefício econômico.

REDUCTION OF ORGANIC LOADS OF RESIDUAL BIOMASSES FROM A FOOD INDUSTRY BY ANAEROBIC TREATMENT

ABSTRACT

The adoption of effluent treatment techniques is essential for the agroindustrial sector, which is widely developed in Brazil, to sustain and expand considering the impacts of their activities and the existing environmental limitations. The present study characterized residual biomasses of a food industry, aiming to monitor the Biochemical Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD) parameters and the relationship between them, to identify the biodegradability of samples submitted to the anaerobic digestion process. The intention of this study was to evaluate the efficiency of removal of the organic loads, expressed as COD and BOD₅, by conversion to biogas. The results presented values in the COD/BOD₅ ratio lower than 2.5 indicating biodegradability of the samples and, therefore, the biological treatment was considered adequate. The percentage of COD and BOD removal in the samples ranged from 53.0 to 68.6% and 84.0 to 94.8%, respectively, demonstrating efficiency in the treatment adopted and resulting in an average yield of 0.22 L_{Biogás}.g⁻¹_{DQO} and average methane content of 68.5%.

Keywords: Biodegradability. Biogas. Biodigestion. Renewable energy.

REFERÊNCIAS

ANA. Agência Nacional das Águas. Portal da Qualidade das Águas. **Índice de Qualidade das Águas**. Online. Disponível em: <http://portalpnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx#_ftn4>. Acesso em: 22 jan. 2017.

APHA. American Public Health Association. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 5220 C Refluxo fechado. 21th Ed., Washington (USA), 2005.

ARCHETI, E. A. M. E. **Gestão Ambiental e Oportunidades de Minimização de Resíduos Industriais em Curtumes na Cidade de Franca – SP**. São Carlos, SP: UFSCAR, 2001. Dissertação de Mestrado, Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Pós-Graduação em Engenharia Urbana.

BADO, C.; PERCIO, J. E.; LINDINO, C. A. A demanda química de oxigênio: questionamentos. **Revista Analytica**, n. 62, 2013.

R. gest. sust. ambient., Florianópolis, v. 7, n. 2, p.465-483, abr./jun. 2018.

BARBIERI, J. C. **Gestão Ambiental Empresarial Conceitos, Modelos e Instrumentos**. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2007.

BRASIL. CONAMA. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução nº 001 sobre as diretrizes gerais para uso e implementação da Avaliação de Impacto Ambiental como um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente. 1986

CHERNICHARO, C.A. de L. **Reatores anaeróbios: princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. Belo Horizonte: Politécnica, v. 5, 246 p. 1997.

CÓLON, J.; FÓRBIS-STOKES, A. A.; DESHUSSES, M. A. Anaerobic digestion of undiluted simulant human excreta for sanitation and energy recovery in less-developed countries. **Energy for Sustainable Development**, v. 29, p. 57-64. 2015. **DOI:** <http://dx.doi.org/10.1016/j.esd.2015.09.005>

DAL SOLER, A. L. Levantamento de dados da geração e caracterização de dejetos na suinocultura em fase de creche e terminação. Trabalho de conclusão de curso. Curso de Engenharia Ambiental, Centro Universitário Univates. Lajeado, 2012.

GLATZ, P.; MIAO, Z.; RODDA, B. Handling and treatment of poultry hatchery waste: a review. **Sustainability**, v. 3, p. 216-237, 2011. **DOI:** <http://dx.doi.org/10.3390/su3010216>

GOMES, F. O. de C.; CAPPI, N. Redução de Sólidos de Dejetos de Poedeiras em Biodigestores Operados com Diferentes Tempos de Retenção Hidráulica. In: **Periódicos UEM**. Encontro de Iniciação Científica, v.1, n.1. 2011.

JOAQUIM, G.; BINOTTO, R. B.; MOHRDIECK, F. G.; RODRIGUES, A. L. M. Avaliação de resultados analíticos de solos do estado do Rio Grande do Sul, Brasil, com aplicação de resíduos do processo de curtimento de couros, sem utilização de cromo, visando à definição de taxas de aplicação na agricultura. **Fepam em Revista**, Porto Alegre, v.1, n.2, p.13-21, jul./dez. 2007.

KONRAD, O.; BEZAMA, A. B.; PRADE, T.; BACKES, G. M.; OESCHNER, H.. Enhancing the analytical capacity for biogas development in Brazil: assessment of an original measurement system for low biogas flow rates out of agricultural biomass residues. **Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering**, v. 36, p. 792-798, 2016. **DOI:** <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v36n5p792-798/2016>

MATOS, A. T. **Práticas de qualidade do meio físico ambiental**. Roteiro de aula prática. Universidade Federal de Viçosa, 64p. Viçosa, 2006.

NETO, E. D. D.; ALVARENGA, L. H.; COSTA, L. de M.; NASCIMENTO, P. H.; SILVEIRA, R. Z.; LEITE, L. H. de M. Implementação e avaliação de um biodigestor de produção descontínua. **Revista eletrônica E-xacta**, v. 3, n. 2. 2010. **DOI:** <http://dx.doi.org/10.18674/exacta.v3i2.296>

R. gest. sust. ambient., Florianópolis, v. 7, n. 2, p.465-483, abr./jun. 2018.

NGHIEM, L. D.; KOCH, K.; BOLZONELLA D.; DREWES, J. E. Full scale co-digestion of wastewater sludge and food waste: Bottlenecks and possibilities. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 72, p. 354-362, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.062>

OLIVEIRA, S. V.; LEONETI, A. B.; CALDO, G. M. M.; OLIVEIRA, M. M. B. de. Generation of bioenergy and biofertilizer on a sustainable rural property. **Biomass and Bioenergy**, v. 35, n. 7, p. 2608-2618, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.02.048>

PEREIRA, M. S.; GODOY, T. P.; GODOY, L. P.; BUENO, W. P.; WEGNER, R. da S. Energias renováveis: biogás e energia elétrica provenientes de resíduos de suinocultura e bovinocultura na UFSM. **REGET/UFSM**, v. 19, n. 3, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.5902/2236117018064>

PIRES, J. M. de A.; SILVA, J. L. G. da. Logística reversa: uma ferramenta estratégica para o desenvolvimento sustentável. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, v. 12, n. 5, p. 143-181, 2016.

PIROTA, R. D. P. B; TONELOTTO, M.; DELABONA, P. da S.; TREMACOLDI, C. R. FARINAS, C. S. Caracterização de fungos isolados da região Amazônica quanto ao potencial para produção das enzimas envolvidas na conversão da biomassa vegetal. **Revista Ciência Rural**, v. 45, n. 9, p. 1606-1612, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20141241>

RODRIGUES, L. S.; LOPES, B. C.; LIMA, C. A.; RIBEIRO, M. C.; SANTOS, R. P.; SILVA, I. J. Tratamento de efluentes de abatedouro de frangos por meio de reator UASB seguido de filtro anaeróbio. **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.**, v.68, n.1, p.97-103, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4162-7809>

ROSA, M. F.; SOUZA FILHO, M. S. M.; FIGUEIREDO, M. C. B.; MORAIS, J. P. S.; SANTAELLA, S. T.; LEITÃO, R. C. Valorização de resíduos da agroindústria. **Anais. II Simpósio Internacional sobre Gerenciamento de Resíduos Agropecuários e Agroindustriais II SIGERA**. Foz do Iguaçu/PR, 2011.

SEGATTO, M. P. Efeitos da aplicação de resíduos industriais no solo e nas plantas. 2001. 150 f. Dissertação de Mestrado - UFRGS, Porto Alegre, 2001.

SEGATTO, M. P.; ANDREAZZA, R.; BORTOLON, L.; SANTOS, V. P.; GIANELLO, C.; CAMARGO, F. A. O. Decomposição de resíduos industriais no solo. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 34, n. 1, p. 49-62, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.5902/2179460X9354>

SGORLON, J. G.; RIZK, M. C.; BERGAMASCO, R.; TAVARES, C. R. G. Avaliação da DQO e da Relação C/N Obtidas no Tratamento Anaeróbio de Resíduos Fruti-hortícolas. **Acta Scientiarum Technology**, v. 33, n. 4, p. 421-424. 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.4025/actascitechnol.v33i4.8259>

R. gest. sust. ambient., Florianópolis, v. 7, n. 2, p.465-483, abr./jun. 2018.

STEINMETZ, R. **Avaliação do efeito de drogas veterinárias na produção específica de biogás de substratos agropecuários**. 168p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química. Florianópolis/SC, 2016.

THEIS, V.; SCHREIBER, D. Análise das práticas ambientais em atividades de inovação de produtos e processos. **Sustentabilidade em Debate**, v. 6, n. 2, p. 155-170. 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.18472/SustDeb.v6n2.2015.12871>

VDI 4630. Fermentation of organic materials. **Characterization of the substrate, sampling, collection of material data, fermentation tests**. 92 p. Germany: Verein Deutscher Ingenieure –VDI, 2006.

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. 3. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2005.

WAGNER, L. F.; PEDROSO, K. Disposição de resíduos das Estações de Tratamento de Água. **Revista TechnoEng**, 10ª Ed., v. 1, 2014.

WTW. Wissenschaftlich Technische Werkstätten GmbH. Manometrische BSB-Meßgeräte. **Manual de Instruções**. Germany. 2008. p. 23.

XAVIER, C. DE A. N.; LUCAS JÚNIOR, J. de. Parâmetros de dimensionamento para biodigestores batelada operados com dejetos de vacas leiteiras com e sem uso de inoculo. **Revista Engenharia Agrícola, Jaboticabal**, v. 30, n.2, p. 212-223, mar./abr. 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162010000200003>

ZHEN, G.; LU, X.; KATO, H.; ZHAO, Y.; LI, Y. Y. Overview of pretreatment strategies for enhancing sewage sludge disintegration and subsequent anaerobic digestion: Current advances, full-scale application and future perspectives. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 69, p. 569-577, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.187>