
O ESTADO DA ARTE DA DIGESTÃO ANAERÓBIA DE SORO DE LEITE E DE DEJETOS DA SUINOCULTURA PARA PRODUÇÃO DE BIOGÁS

THE STATE OF THE ART OF ANAEROBIC DIGESTION OF CHEESE WHEY AND MANURE OF SWINE CREATION FOR BIOGAS PRODUCTION

Letícia Ribeiro Machado ¹
Adriano Henrique Ferrarez ²
Jader Lugon Junior ³
Fernando César Alves ⁴

Resumo: Os setores de lácteos e da suinocultura, dentre as atividades agroindustriais, apresentam forte presença na economia brasileira. O soro de leite, resíduo originário da fabricação de queijos, e os dejetos suínos possuem carga orgânica elevada e a gestão inadequada deles, provoca a poluição do ar, comprometem rios e lençóis de água superficiais que abastecem tanto o meio rural como o urbano acarretando desequilíbrios ecológicos, disseminação de patógenos e contaminação das águas potáveis com amônia, nitratos e outros componentes tóxicos. Uma das alternativas de se tratar esses e outros tipos de resíduos se dá por meio do processo biológico na ausência de oxigênio. Neste trabalho foi realizada revisão de literatura para avaliar o estado da arte da digestão anaeróbia considerando esses efluentes como forma de gerenciamento e tratamento, com vista à geração e aproveitamento energético do biogás. Foram produzidos dados bibliométricos para identificação das datas e locais em que as pesquisas foram realizadas assim como os periódicos científicos em que foram publicadas.

Palavras-chaves: Resíduos Agroindustriais. Sustentabilidade. Energiarenovável.

Abstract: *The dairy and swine sectors, among agroindustrial activities, have a strong presence in the Brazilian economy. Cheese whey, residue of dairy products, and swine manure have high organic load and inadequate management of them, leading to air pollution, contamination of rivers and surface water that supply both rural and urban environments, causing ecological imbalances, dissemination of pathogens and contamination of drinking water with ammonia, nitrates and other toxic components. One of the alternatives to treat those and other types of waste is through the biological process in the absence of oxygen. In this research, a literature review was carried out to evaluate the state of the art of the anaerobic digestion of these effluents as a form of management and treatment, with a view to the generation and energetic use of biogas. Bibliometric data were produced to identify the dates and places in which the surveys were conducted, as well as the scientific journals in which they were published.*

Keywords: *Agroindustrial waste. Sustainability. Renewable energy.*

¹Instituto Federal Fluminense, Campus Macaé – Brasil, email: leticia.ribeiro.machado@gmail.com

²Instituto Federal Fluminense, Campus Itaperuna – Brasil, email: adriano.h.ferrarez@gmail.com

³Instituto Federal Fluminense, Campus Macaé – Brasil, email: jlugonjr@gmail.com

⁴Instituto Federal Fluminense, Campus Centro – Brasil, email: fernandocalvesiff@gmail.com

1 Introdução

A geração de resíduos provenientes de diversas atividades econômicas, em particular as agroindustriais, como frigoríficos, abatedouros e empreendimentos do ramo alimentício, como os laticínios, vêm sendo amplamente debatida, devido ao grande potencial poluidor de tais resíduos, capazes de causar sérios impactos ao meio ambiente (MACÊDO et al., 2017).

Nos últimos 30 anos o setor de laticínios no Brasil vem se modernizando (CARVALHO, 2010). Mais especificamente entre 2003 e 2013 houve um crescimento de 57% na produção de lácteos alcançando a marca anual de 35 bilhões de litros de leite fazendo com que o país passasse para o terceiro lugar no ranking mundial atrás da Índia e Estados Unidos (BRASIL, 2014).

Esse desenvolvimento do setor lácteo gera impactos ambientais relacionados principalmente ao grande consumo de água e energia, geração de resíduos e poluição atmosférica. Em relação ao efluente, estudos indicam que para cada litro de leite processado gera-se até 6 litros de resíduos, como o soro de leite com alta concentração de matéria orgânica (BRASIL, 2014; CETESB, 2008).

Sob o aspecto nutricional, o leite é visto como um dos alimentos mais completos, fomentando muitas utilizações e transformações a nível industrial, entretanto, no processo de fabricação de queijos, cerca de 85 a 90% do seu volume corresponde ao soro de leite, um coproduto lácteo, com alto valor nutritivo por apresentar uma ótima fonte de proteínas, com aplicabilidade no preparo de bebidas. Em contrapartida, nos estabelecimentos de pequeno porte, esse soro é descartado muitas vezes de forma indevida (SERAFIM et al. 2017; PELEGRINE e CARRASQUEIRA, 2008).

Nas décadas recentes, a produção brasileira de suínos aumentou consideravelmente devido a investimentos, fusões e aquisições e uso de tecnologias no setor (BRASIL, 2016). A suinocultura contribuiu com mais de 62 bilhões de reais para o Produto Interno Bruto (PIB) do Brasil no ano de 2015. Porém, a participação do Estado do Rio de Janeiro é pequena na produção nacional, apresentando 64.492 cabeças e 9.968 matrizes segundo dados da Pesquisa da Pecuária Municipal – PPM 2016 (BRASIL, 2016). A atividade suinícola produz resíduos (dejetos suínos e as águas de higienização), com grande concentração de nutrientes que quando dispostos de forma inadequada no ambiente podem comprometer a qualidade dos recursos naturais, causando impactos e degradação ambiental (ARAÚJO et al., 2012; SCHERER et al., 2010).

Nesse contexto, a Resolução CONAMA 430/2011 estabeleceu condições e padrões de lançamento de efluentes nos corpos receptores, além de determinar que a responsabilidade pelo correto gerenciamento dos resíduos e efluentes se devem àqueles que os produzem (BRASIL, 2011).

A digestão anaeróbia se apresenta como uma alternativa para o tratamento dos resíduos orgânicos, proporcionando uma gestão sustentável dos mesmos. Além disso, esse processo dá origem a dois subprodutos, o biogás e o biofertilizante, com alto valor agregado, que podem ser facilmente inseridos na própria cadeia produtiva em que são gerados, resultando em um ciclo eficiente e limpo, com aproveitamento energético e atendimento à legislação (SILVA et al., 2015; COSTA et al., 2016).

Além disso, por meio desse processo, é possível extrair o biohidrogênio a partir do biogás, proporcionando um maior valor econômico agregado a ele, tendo em vista o baixo impacto para sua aquisição e a alta capacidade energética como célula combustível (SCHAFFER et al., 2014), podendo-se também destacar a iminente necessidade de diversificação da matriz energética atual, tomando como referência algumas mudanças em

determinados setores no uso de combustíveis fósseis, como é o caso do setor de aviação, que vem buscando energia de origem renovável em detrimento do uso de hidrocarbonetos para suprir suas demandas (RANUCCI et al., 2014; DE OLIVEIRA et al., 2014).

O objetivo desse trabalho foi avaliar o estado da arte da digestão anaeróbia de soro de leite e de dejetos suínos para produção de biogás, partindo-se de uma revisão de literatura e dados bibliométricos, que segundo Mugnaini et. al. (2004), são valores estatísticos, mensurados quantitativamente, baseados na produção científica.

2 Materiais e Métodos

O método utilizado foi o levantamento bibliográfico, baseado em artigos científicos publicados em revistas internacionais indexadas. Foram produzidos dados quantitativos bibliométricos a fim de caracterizar as referências bibliográficas utilizadas considerando o ano, nome da revista, país em que o trabalho foi realizado e substratos digeridos em cada um desses artigos.

Para realizar a busca dos artigos, foram consideradas algumas bases de dados, como Scielo, Scopus, Periódicos da CAPES, Science Direct e Google Acadêmico, baseadas nas palavras-chave: *anaerobicdigestion*, *cheese whey*, *swinemanure*, *biogas*, *biodigestor*, *anaerobiccodigestion* e *renewableenergy*.

3 Resultados e discussões

3.1 Estado da arte da digestão anaeróbia do soro de leite e de dejetos suínos

Yan et al. (1988) observaram que o soro de leite poderia ser tratado anaerobicamente em um reator do tipo UASB com TRH fixo em 5 dias. Variando a carga orgânica, as taxas de produção de metano variaram entre 0,219 e 0,313L de metano/g DQO com mais de 98% de remoção de DQO alcançada. Até a taxa de 28,8g DQO/L, a produção de metano foi satisfatória. O aumento até 41,1g DQO/L provocou a instabilidade do processo, mediante a formação de ácidos que causaram a diminuição da produção de metano. A composição de metano foi mantida em torno de 46,5% quando o reator foi alimentado com 20,5g de DQO/L.

Montuelle et al. (1992) avaliaram o tratamento anaeróbio dos dejetos suínos e o tratamento aeróbio da água residuária da fabricação de queijos junto com o sobrenadante oriundo dos dejetos suínos. A produção específica de biogás foi de 0,97 m³ / m³ de digestor e a produção média ao longo de 8 meses foi de 0,91 m³ / m³ de digestor. O teor de metano no biogás produzido variou entre 65 a 76%. A remoção de DBO atingiu o valor de 84% e a remoção de ácidos graxos voláteis foi de 86%. O processo aeróbico foi empregado para remover biologicamente o nitrogênio, pela nitrificação e desnitrificação, obtendo-se um valor da relação C/N igual a 2,3, sendo que a taxa ideal para desnitrificação a partir da relação C/N é entre 2 e 4,5. A combinação dos dois processos resultou em uma remoção de 98% de DQO, mais de 99% de remoção de DBO e de 93% de nitrogênio.

Ghaly (1996) avaliou em termos comparativos a produção de biogás, o teor de metano, a remoção de DQO e sólidos voláteis da digestão do soro de leite e de dejetos de vaca leiteira, sob a influência do pH, TRH e temperatura. A digestão anaeróbica do soro de leite ácido sem controle do pH não foi viável pois a acidificação nas fases do processo resultou em níveis muito baixos de produção de biogás, teor de metano, remoção de DQO e sólidos voláteis. Quando o pH foi controlado na etapa metanogênica, a faixa da taxa de produção de biogás do soro de leite passou de 20,15 – 22,90 L/dia para 60,45 – 83,70 L/dia à 25°C e de 41,85 L/dia – 58,90 a 125,55 – 156,55 L/dia à 35°C. A eficiência na remoção dos sólidos totais variou de

11,4 para 19,6% para soro de leite sem controle de pH, de 43,7 para 49,0% para soro de leite com controle de pH, e de 47,8 para 57,8% para dejetos de vaca.

Ergüder et al. (2001) utilizaram o soro de leite para a digestão anaeróbia por meio de reatores UASB e alimentaram o sistema com meio basal (MB). A produção de metano por batelada foi maior nos frascos alimentados com o meio basal. Nos reatores UASB, as eficiências de remoção de DQO ficaram em torno de 91,9% e 97,0%, com TRH entre 2,06 e 4,95 dias, sendo controlada a alcalinidade e fornecidos os nutrientes suficientes. Apesar disso, foi necessário implantar um outro reator UASB, porque no primeiro UASB, a DQO efluente ficou entre 1.669 ± 16 e 4.438 ± 74 mg/L, valores muito acima do que a legislação permite. Nesse segundo reator UASB, foi necessário um tempo de retenção hidráulica maior para alcançar a eficiência total de remoção de DQO de 96-97% e níveis de DQO efluentes de 1428-1975 mg/L, que ainda são altas para descarga no meio hídrico de acordo com a legislação. Por isso, como alternativa, a eficiência poderia ser melhorada com o aumento do TRH ou ainda pela reciclagem dos efluentes.

Gelegenis et al. (2007) analisaram a produção de biogás por meio da codigestão do soro de leite com dejetos de frango diluído nas proporções de 15%, 25%, 35% e 50% (v/v). Com 35% de soro de leite o sistema teve máxima produção e com 50% o sistema entrou em colapso. Os experimentos em escala de laboratório mostraram que o soro de leite poderia ser adicionado em até 50% e em 40% na planta piloto.

Chae et al. (2008) utilizaram dejetos suínos para produzir biogás sob condições mesofílicas, sendo a produção final de metano de 317, 397 e 437 mL de metano/g de sólido volátil nas temperaturas de 25°C, 30°C e 35°C, respectivamente, quando o dejetos suíno foi alimentado a 5% (volume de alimentação pelo volume do reator, nesse caso, 5mL de dejetos suíno pois o reator possuía 1L de volume de trabalho). O rendimento de biogás foi influenciado pela temperatura na faixa de 25-35 °C, mas não foi linear dentro da faixa testada. Perceberam que se a concentração de sólidos voláteis fosse superior ao valor de 45.000 mg/L, seria mais econômico utilizar a digestão à 35°C que a 30°C.

Venetsaneas et al. (2009) utilizaram o soro de leite para produzir hidrogênio e metano a partir de um reator de dois estágios com controle de pH. A produção de hidrogênio foi de $2,9 \pm 0,2$ L/Lreator/d, e o rendimento de hidrogênio em torno de $0,78 \pm 0,05$ mol H₂/mol de glicose consumida, com adição de alcalinidade. O TRH foi de 20 dias com produção aproximada de 1L de metano/dia, que corresponde a um rendimento de 6,7 L metano/L de afluente. A DQO atingiu uma remoção de 95,3%.

Kavacik e Topaloglu (2010) avaliaram a produção de biogás a partir da codigestão do soro de leite com dejetos de vaca leiteira, por meio de um reator anaeróbio de 20L, com sistema de aquecimento, agitado por um motor e com três TRH: 5, 10 e 20 dias, além disso, utilizaram um meio basal para melhorar o crescimento de bactérias. A codigestão foi benéfica em termos de eficiência de produção quando comparado à digestão de cada um separadamente. O dejetos de vaca leiteira rico em lipídeos e o soro de leite em carboidratos, proporcionou o rendimento máximo de biogás em 5 dias, com 1.510 m³/m³/dia com 60% de teor de metano e 54% de remoção de DQO a 8% de concentração de sólidos totais a uma temperatura de 34 °C.

Wu et al. (2010) avaliaram a codigestão do dejetos suíno com uma mistura de resíduos agrícolas (talos de milho, palha de aveia e palha de trigo) com três diferentes relações C/N, 16/1, 20/1 e 25/1, e conseguiram determinar que a codigestão de resíduos agrícolas, em suma o talo de milho mais dejetos suíno e a palha de aveia mais dejetos suíno se mostraram eficientes quanto à produção de biogás pois apresentaram aumento do volume diário total, na porcentagem de teor de metano, na composição do biogás e no volume líquido de metano

devido à melhor proporção de carbono e nitrogênio (C/N). A relação C/N que apresentou melhor resultado foi a de 20/1.

Spachos e Stamatis (2011) analisaram a digestão anaeróbia em termos energéticos e econômicos de uma planta de biogás. A eficiência energética foi considerada baixa, com 23,99%, sendo 91% de perdas de energia no queimador e na caldeira. Concluíram que a otimização poderia promover uma melhora de 2,3% na eficiência energética, e em 18% no valor presente líquido (VPL).

Riaño et al. (2011) avaliaram o processo de codigestão do dejetos suíno com água residual da produção de vinhos. Constataram que o rendimento de metano aumentou em 45%, 69% e 75% quando foram adicionados 10%, 25% e 40% de água residuária da produção de vinhos ao dejetos suíno, respectivamente.

Comino et al. (2012) avaliaram a produção de biogás pela codigestão do soro de leite com dejetos bovino em condições mesofílicas. A codigestão permitiu um aumento da produção específica de biogás em até 300% em relação a fase inicial (somente o dejetos bovino). O aumento da proporção de soro de leite, em até 65%, levou a uma maior produção de metano, mas o processo começou a ser instável e menos eficiente. A codigestão considerando 50%/50% possibilitou obter uma produção de eletricidade igual a 13,5 kW por 1 t/dia com tecnologia CHP com uma eficiência de 36%, uma remoção de 82% de DQO e 90% de DBO5.

Prazeres et al. (2012) realizaram uma pesquisa bibliográfica com o intuito de caracterizar o soro de leite e pontuar os possíveis tratamentos existentes para ele. Em relação às características do soro de leite destacaram: (i) Possui uma parcela considerável de lactose, gordura, proteína, água e nutrientes; (ii) Possui de 27-60kg de DBO/m³ e 50-102 kg de DQO/m³; (iii) pH geralmente ácido e; (iv) níveis elevados de nitrogênio. Os autores não conseguiram indicar o melhor método de gerenciamento, pois enfatizaram que uma série de variáveis que precisam ser consideradas.

Kafle et al. (2012) visaram determinar a viabilidade da codigestão de resíduos de Kimchi (alimento típico coreano) formado pela mistura de farelo de arroz e repolho chinês com dejetos suíno em condições mesofílicas. O potencial de biogás para repolho a 100% e farelo de arroz a 100% foi de 450 e 649 mL/g de SV adicionado, respectivamente, no dia 90° de TRH. Não houve alteração significativa do pH, sólidos totais e sólidos voláteis desses componentes sozinhos. Não houve diferença significativa nos rendimentos de metano entre dejetos suíno a 100% e silagem de Kimchi a 33%, porém, houve um aumento significativo de metano quando os resíduos de Kimchi passou para 67%.

Molinuevo-Salces et al. (2012) investigaram a codigestão anaeróbia de dejetos suíno com restos de vegetais com dois diferentes tempos de retenção hidráulica assim como o potencial de geração de energia elétrica a partir do biogás. Com isso, descobriram que a adição de restos vegetais possibilitou um aumento de 1,4 e 3 vezes no rendimento do metano ao comparar valores obtidos de R1 (digestão anaeróbia somente do dejetos suíno) e R2 (codigestão: 50% dejetos suíno + 50% resíduos vegetais), com 15 e 25 dias de TRH, respectivamente. A biodegradabilidade melhorou em 63% em ambos os reatores com a adição de 50% de resíduos vegetais. No reator 1, com TRH de 25 dias, o teor de metano foi de 49%. A diminuição do TRH para 15 dias no reator 1 resultou em um rendimento médio de metano de 201 mL CH₄/g SV. O poder calorífico do metano foi assumido com em 8600 kcal m³ e a capacidade total do digestor incluiu 20% de capacidade de armazenamento de biogás. A eficiência do motor de cogeração foi considerada em 35% e a capacidade elétrica em 329 dias/ano. A eficiência poderia aumentar para 55% com sistemas de aquecimento incorporados.

Xia et al. (2012) analisaram a codigestão de: (i) dejetos suíno com pena de aves; e (ii) lodo de matadouro com pena de aves. Observaram que a codigestão de dejetos suíno com

penas de aves apresentou melhor resultado devido ao êxito no aproveitamento da quantidade de penas no processo metanogênico, à maior bioenergia e menor quantidade de lodo como resíduo após essa codigestão anaeróbia, com um aumento na produção de biogás de 124% e aumento de 130% de teor de metano.

Deng et al. (2012) avaliaram a digestão anaeróbia do dejetos suíno considerando o líquido concentrado e o menos concentrado, concluindo que a produção de biogás foi mais eficiente em relação ao líquido concentrado, podendo ser também utilizado como fertilizante após o processo de digestão, e o outro menos concentrado, após a digestão, pode ser lançado nos corpos hídricos. A produção de biogás para o líquido concentrado foi 6,7 vezes superior em relação ao líquido menos concentrado, com uma média de produção de biogás de 15,9 L/Lmatéria-prima e 2,37 L/Lmatéria-prima, respectivamente.

Bertin et al. (2013) analisaram a codigestão do soro de leite com os dejetos de gado para o processo anaeróbico de dois estágios. A utilização dos dois efluentes juntos (50%/50%) propiciou maiores taxas metanogênicas, 320 ± 9 mL metano / g sólidos voláteis, ou seja, 2,5 vezes o valor obtido pelo dejetos bovino e 27 vezes o valor obtido pelo soro de leite quando avaliados sozinhos. A produção de biogás caiu quando a presença de soro de leite foi superior a 60%, acidificando o meio.

Carvalho et al. (2013) realizaram uma revisão bibliográfica sobre a caracterização e tratamento das águas residuárias do soro de leite, que possuem de 0,8 a 77 g/L de DQO e 0,6 a 16 g/L de DBO, 45 g/L de lactose, 34 g/L de proteína e 6 g/L de teor de gordura, podendo ser empregado o tratamento biológico (anaeróbio e aeróbio) e físico-químico (coagulação, floculação e precipitação e processos de oxidação). A digestão anaeróbia, segundo muitos autores, apresenta-se como a melhor opção para tratar esse tipo de resíduo, em que os valores de remoção de DQO, variam de 81% a 99% sem diluição e de 85 a 98% com efluente diluído, porém, apesar da remoção significativa de DQO, em alguns casos, o efluente ainda apresentava valores inaceitáveis.

Avaci et al. (2013) realizaram um estudo econômico financeiro para a microgeração de energia elétrica a partir do biogás de origem suína considerando três cenários diferentes: cenário 1 (produção média de biogás = 554 m³/dia; 4.673 suínos; temperatura média de 22.11°C; geração de energia = 10h/dia); cenário 2 (produção média de biogás = 729 m³/dia; 6073 suínos; geração de energia = 16h/dia); cenário 3 (produção média de biogás = 911 m³/dia; 7000 suínos; geração de energia = 20h/dia). Concluíram que a geração de energia elétrica não seria financeiramente viável, a não ser se houvesse a venda de créditos de carbono. Observaram que o payback para a geração de energia elétrica foi praticamente o mesmo para 16 e 20h/dia. Dessa forma, seria mais viável gerar energia a 16h/dia devido ao menor investimento inicial.

Kafle e Kim (2013) avaliaram a produção de biogás pela codigestão de dejetos suíno com resíduos de maçã, comparando-os em reatores contínuos e em batelada, considerando diferentes proporções de mistura. Com isso, comprovaram que a codigestão foi benéfica, pois melhorou o rendimento de biogás em aproximadamente 16% e 48% em condições mesofílicas e termofílicas, respectivamente. Em comparação com a produção atingida pelo dejetos suíno sozinho (valor máximo da taxa de produção de biogás foi de 21 mL/g DQO total-dia no 22° dia), não houve diferença significativa no rendimento de metano. O rendimento médio de biogás do digestor com 100% de dejetos suíno foi de 342 mL/g de DQO total adicionado. No digestor com 67% de dejetos suíno e 33% de resíduos de maçã o rendimento médio de biogás foi de 398 e 505 mL/g de DQO total adicionados em condições mesofílicas e termofílicas, respectivamente.

Diamantis et al. (2014) analisaram a codigestão do soro de leite com água de lavagem do processo da indústria láctea, em diferentes modos de operação, no reator do tipo UASB de

único estágio e um reator de tipo CSTR seguido pelo reator UASB, a fim de compará-los. No sistema de dois estágios eles obtiveram uma taxa de remoção de DQO por volta dos 90% no reator UASB e produção de metano de 0,37 Nm³ CH₄/kg DQOrem, sem a necessidade de controlar a alcalinidade do substrato, visto que o pH ficou em torno de 6,7 quando o reator operou com valores de carga orgânica até 20 kg DQO/m³/dia. O reator do tipo CSTR possibilitou essa melhora no UASB por conta da separação e recirculação da biomassa antes da metanogênese, com a acidificação completa das águas residuais.

Gomez-Romero et al. (2014) analisaram o uso do resíduo vegetal e de frutas com o soro de leite para produção de biohidrogênio, variando suas proporções em testes com cinco proporções do substrato (soro:resíduo = 100: 0, 75:25, 50:50, 25:75 e 0: 100 (% v/v)), correspondendo a relação C/N (7, 17, 21, 31 e 46) em sistemas de lote de 2L a um pH de 5,5 (mantido pela adição de NaOH (10 M) ou H₂SO₄ (30% v/v)) e temperatura mesofílica de 37°C. Verificaram que a produção de biohidrogênio foi melhorada com a codigestão do soro de leite com restos de frutas e vegetais, com maior produtividade global do biohidrogênio de 2,16 mmol H₂/Lh, rendimento de 449,84 mL H₂/g DQO e a taxa máxima de produção volumétrica de 10,56 mmol H₂/Lh com a relação C/N de 21.

Rico et al. (2015) trataram o soro de leite e a fração líquida filtrada do dejetos de vacas leiteiras pela codigestão em um reator de único estágio agitado continuamente. Quando o reator atuou com um TRH de 15,6 dias e com uma fração de 15 a 85% de soro de leite, obteve-se boa eficiência. O processo conseguiu estabilidade com um tempo de retenção de 8,7 dias, pois o rendimento de metano residual aumentou de 1,3 L de metano/kg de substrato durante 15,7 dias para 3,8 em 8,7 dias, o que representou um aumento na eficiência de 75,9% para 90,8%.

Fernández et al. (2015) analisaram a digestão anaeróbia termofílica do soro de leite para produção de hidrogênio e metano em um e dois estágios e concluíram que com o TRH de 8,3 dias em condições termofílicas, a digestão anaeróbia obteve sucesso no tratamento do soro de leite. Em relação ao processo de dois estágios, foi necessário um maior TRH, de 12,5 dias, com a necessidade de regular o pH na primeira fase, no momento da produção do gás hidrogênio.

Carlini et al. (2015) realizaram experimento para a produção de biogás a partir de dejetos de frango e água residuária de soro de leite em condições mesofílicas e em reatores de batelada, conseguindo a melhor proporção dessa mistura em 1:1, com teor médio de metano de 65%. Eles estimaram também uma produção anual de 520.000 kWh de eletricidade a partir de um potencial de metano na faixa dos 223 mL/g sólidos voláteis em uma planta de digestão anaeróbia de 65 kW.

Rico et al. (2015) analisaram a codigestão do soro de leite com fração líquida do dejetos de vaca por meio de um reator do tipo UASB em condições mesofílicas e monofásica com os seguintes TRH's: 2,2, 1,8, 1,65, 1,45, 1,3 e 1,18 dias. Assim, com 75% de soro de leite na alimentação da mistura em um TRH de 2,2 dias, conseguiram um percentual de 94,7% de remoção de DQO e uma taxa de produção de metano volumétrico de 6,4 m³ CH₄/m³.dia e com 60% de soro de leite na alimentação do reator, conseguiram a maximização do processo, com um TRH de 1,3 dias, com 95,1% de remoção de DQO e uma taxa de produção de metano volumétrico estável de 9,5 m³ CH₄/m³.dia. Para o teor de metano, obtiveram o valor mais alto de 59,4 ± 2,5% para um TRH de 2,2 dias.

Dareioti e Kornaros (2015), analisaram a codigestão anaeróbia a partir de ensilagem de sorgo, soro de leite e dejetos líquido de vaca, nas proporções de 55:40:5, v/v/v, com TRH de 5, 3, 2, 1, 0,75 e 0,5 dias para o reator acidogênico e de 24, 16 e 12 dias para o reator metanogênico, com o pH controlado em 5,5. Perceberam que a taxa de produção de biogás e hidrogênio aumentou de forma considerável com a diminuição do TRH de 5 para 0,5 dias,

com 5,69 L/LR.dia e 2,14 L/LR.dia de produção de biogás e hidrogênio, respectivamente. A maior produção de metano foi de 0,90 L de CH₄/LR.dia para um TRH de 16 dias. A produção e acumulação significativa de ácidos graxos voláteis ocorreu com um TRH de 12 dias, e consequentemente inibição e diminuição da produção de metano.

Yang et al. (2015) investigaram a influência da separação da parte sólida da parte líquida da água residuária da suinocultura na produção específica de metano, além de detectarem a eficiência de remoção de outros parâmetros. Na separação sólido-líquido, a DQO, DBO₅, sólidos totais, sólidos em suspensão, nitrogênio total de kjeldahl e fósforo total puderam ser reduzidas em 10,03%, 19,23%, 6,90%, 10,18%, 14,14% e 14,42%, respectivamente.

Jung et al. (2016) propuseram a codigestão do soro de leite com biomassa de *Ulva*, gênero de algas verdes comestíveis, em diferentes taxas de proporções e regimes operacionais a partir de dois reatores com um TRH de 20 dias. O primeiro reator manteve uma remoção de DQO constante de 68,0-72,5% durante todas as fases, com máximo na fase 1D (75% de *Ulva*) e a produção de metano variável, 0,19-0,30 L/g DQO com o rendimento máximo na fase 1B (25% *Ulva*). A proporção ideal de substrato de *Ulva* seria entre 50-75% para uma codigestão eficiente com o soro de leite.

Amaral et al. (2016) realizaram a separação da fração sólida e líquida do efluente suíno para produção de biogás e constataram que a produção de metano, com 1m³ da fração de lodo depositado produziu entre 1,15 e 10,6 m³ de metano, com média de 5,6 ± 3,3m³. Em relação ao material sobrenadante, a produção de metano foi de 0,5 a 5,8 m³, com média de 3,1 m³ ± 2,0. Porém, a fração sobrenadante por possuir uma maior concentração de carbono disponível (biodegradável), apresentou melhor rendimento de metano.

Córdoba et al. (2016) analisaram o efeito de três diferentes inóculos (inóculo de rúmen bovino, água residuária estabilizada da suinocultura, lodo de esgoto) associados às águas residuárias da suinocultura na produção de metano, averiguando que foram fundamentais nesse processo de digestão anaeróbia, sendo que os melhores foram a água residuária estabilizada da suinocultura e o lodo de esgoto, ambos alcançando uma maior porcentagem de remoção de matéria orgânica, em torno de 50% em termos de sólidos voláteis e DQO e uma maior produção de metano alcançando o valor de 0,25 L CH₄/g SV.

Yang et al. (2016) desenvolveram um modelo para produção de metano a partir da digestão anaeróbia de águas residuárias da suinocultura e conseguiram isso simulando a produção de metano em termos de R² (coeficiente de determinação), RMSE (erro quadrático médio) e AIC (Critério de Informação de Akaike). Consideraram diferentes temperaturas de operação e TRH. O valor da produção volumétrica de metano (R_p) aumentou acentuadamente com o aumento da carga orgânica, estabilizando posteriormente a altas taxas. Sob a influência da temperatura nas constantes cinéticas do novo modelo, a variação observada na constante KD causada pela temperatura foi bastante semelhante à causada pelo aumento da taxa de carga orgânica máxima de 1,2 a 7,2g SV/L/dia à medida que a temperatura variou de 15 °C a 35 °C. Isso permitiu inferir que o KD pode servir como um índice da velocidade de processamento de R_p na proporção que se aproxima de R_{pmax}.

Maragkaki et al. (2017) usaram o lodo de esgoto e uma mistura térmica seca de restos de alimentos, soro de leite e resíduos da produção de azeitona na codigestão anaeróbia. Foram adicionadas ao lodo de esgoto percentuais de 3%, 5% e 7% dessa mistura. Os melhores resultados foram obtidos para a taxa de 5% (v/v), com 1.172 ± 216 mL/Lreator/dia de produção de metano e remoção de DQO entre 78% e 84%. Ressaltaram que na taxa de 7%, não houve diferença significativa em relação à taxa de 5% quanto à produção de biogás, por isso, indicaram alimentar o sistema com 5% a fim de não o sobrecarregar com níveis mais altos de carga orgânica.

Vivekanand et al. (2017) avaliaram o efeito sinérgico da codigestão entre: (i) soro de leite com ensilagem de peixe; (ii) soro de leite com dejetos de vaca; e (iii) ensilagem de peixe com dejetos de vaca, considerando diferentes proporções de mistura. Detectaram que o substrato mais biodegradável foi a ensilagem de peixe, com 99%, pois é rico em lipídeos e o menos biodegradável foi o dejetos de vaca com 28%. Em relação à mistura do soro de leite para pequenas proporções de ensilagem de peixe (15 e 25%), traduziu-se em uma relação benéfica na produção de metano, devido a sua biodegradabilidade, acontecendo o mesmo para pequenas proporções de mistura de dejetos de vaca com ensilagem de peixe.

Os trabalhos analisados contemplaram a digestão e codigestão anaeróbicas com a variação de parâmetros operacionais tais como: (i) TRH; (ii) pH; (iii) temperatura; (iv) agitação e outros. Foram contemplados também aspectos de delineamento experimental, como: (i) o uso de meio basal; (ii) os modelos de biodigestor; (iii) a variedade de substratos que podem ser utilizados na codigestão, bem como as diferentes proporções de mistura dos mesmos. Alguns trabalhos abordaram o aproveitamento energético do biogás com a realização de análise de viabilidade econômica. A maioria dos trabalhos apresentou resultados positivos quanto à produção de biogás a partir de diferentes substratos para codigestão anaeróbia, com ênfase no soro de leite e dejetos suíno. O trabalho de Montuelle et al. (1992) considerou um tratamento aeróbico da água residual da fabricação de queijo com o dejetos suíno. Nenhum dos trabalhos abordou a codigestão anaeróbia de soro de leite com dejetos suínos.

3.2 Gráficos bibliométricos

A Figura 1 mostra os dados bibliométricos referentes ao ano de publicação dos artigos analisados, abrangendo o período de 1988 a 2017, com maior expressividade os artigos de 2012 e 2015.

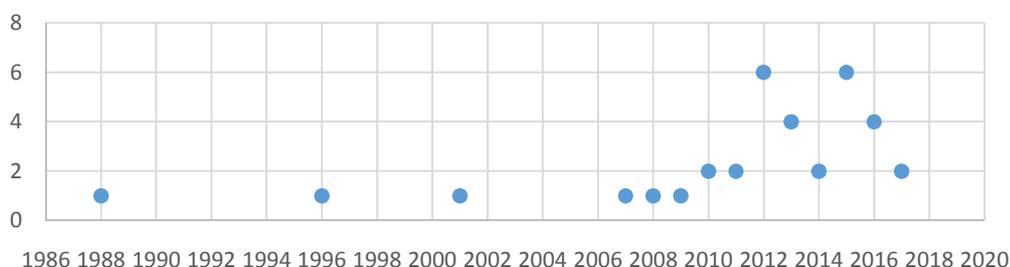


Figura 1. Quantidade de artigos por ano

Fonte: Autoria própria (2018)

A Figura 2 mostra os substratos utilizados na codigestão com dejetos suíno, utilizados nos trabalhos.



Figura 2. Substratos utilizados na codigestão com dejetos suíno

Fonte: Autoria própria (2018)

A Figura 3 mostra as revistas que publicaram os artigos que abordaram a codigestão com dejetos suínos.

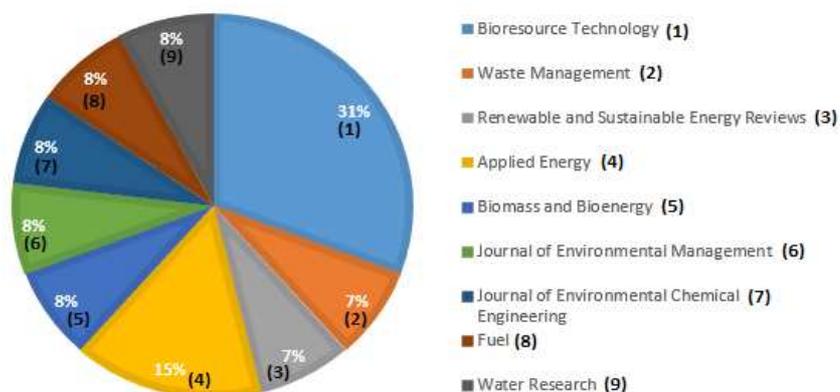


Figura 3. Relação de revistas que publicaram sobre a codigestão envolvendo o dejetos suíno
Fonte: Autoria própria (2018)

A Figura 4 mostra o ano de publicação dos artigos envolvendo a codigestão anaeróbia com o dejetos suíno.

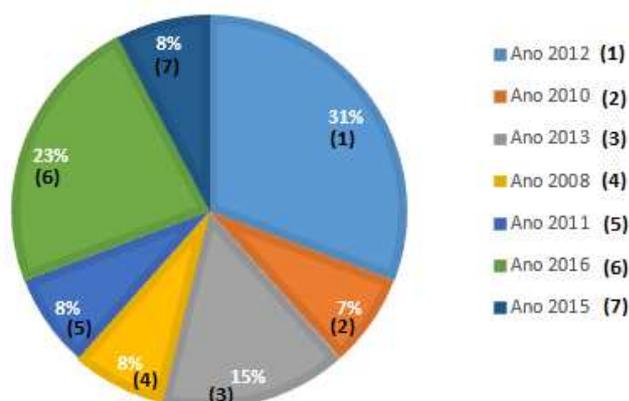


Figura 4. Gráfico acerca da base temporal desses artigos
Fonte: Autoria própria (2018)

A partir da figura 5 a 7, os gráficos reportam informações relacionadas à codigestão com o soro de leite. A Figura 5 mostra os variados substratos utilizados nessa codigestão.

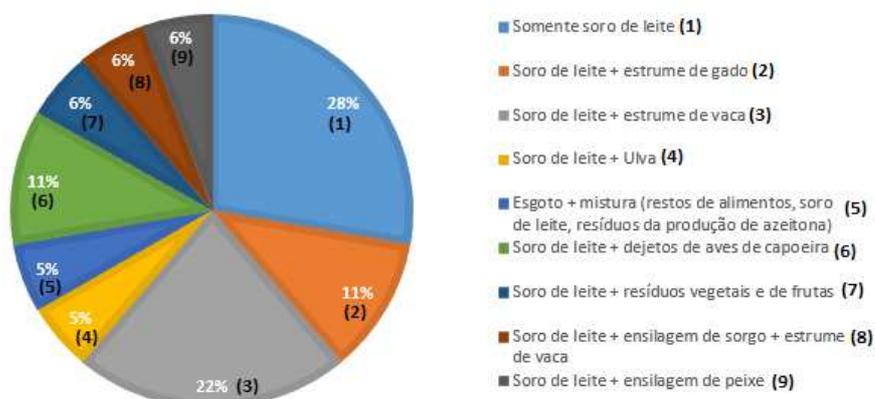


Figura 5. Substratos utilizados na codigestão com soro de leite
Fonte: Autoria própria (2018)

A Figura 6 mostra as revistas que publicaram os artigos que abordaram a codigestão com soro de leite.

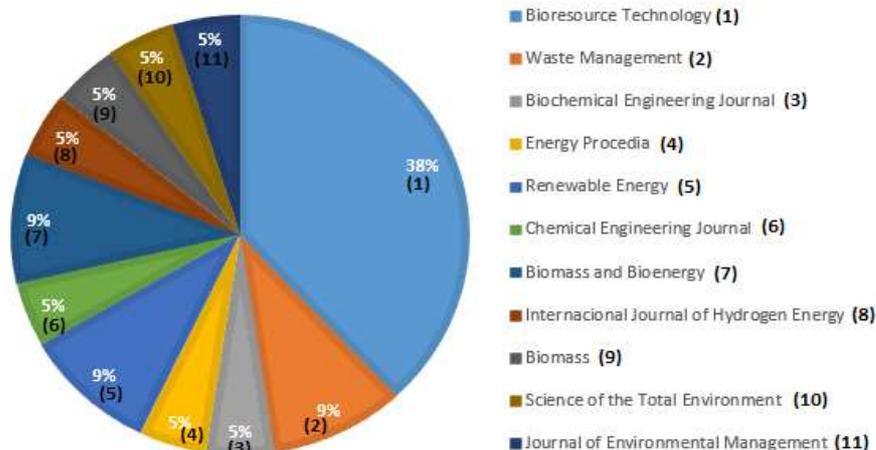


Figura 6. Revistas com artigos sobre codigestão com soro de leite

Fonte: Autoria própria (2018)

A Figura 7 mostra o ano de publicação dos artigos que abordam a codigestão com soro de leite foram publicados.

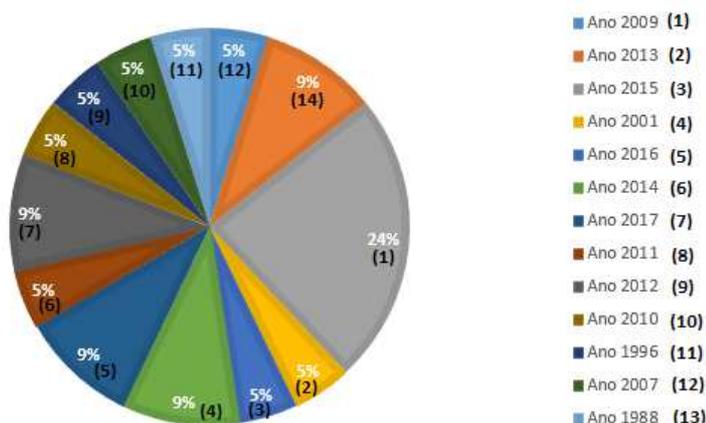


Figura 7. Ano de publicação dos artigos sobre codigestão com soro de leite

Fonte: Autoria própria (2018)

As Figuras 8 e 9 exibem a origem dos artigos presentes nessa revisão, abrangendo os países em que os trabalhos foram desenvolvidos.

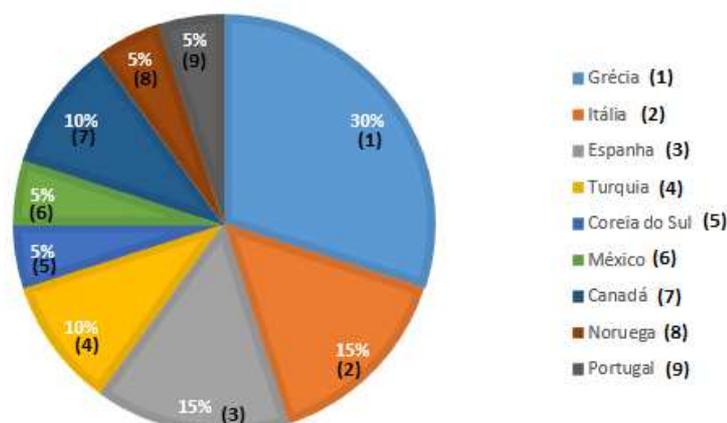


Figura 8. Países de origem dos artigos que publicaram sobre o soro de leite

Fonte: Autoria própria (2018)

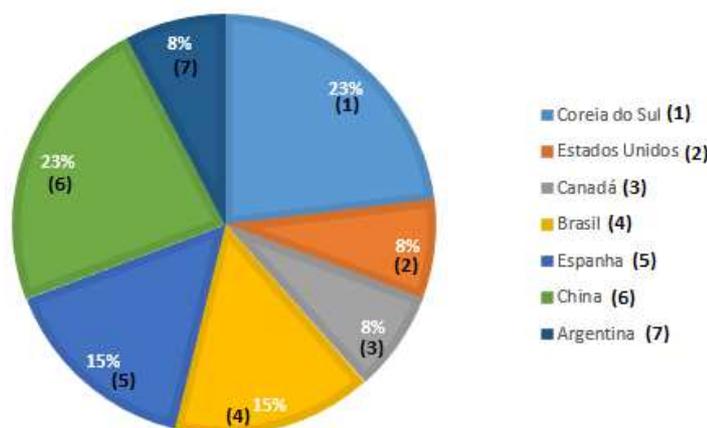


Figura 9. Países de origem dos artigos que publicaram sobre o dejetos suíno

Fonte: Autoria própria (2018)

A predominância de artigos produzidos na Grécia, com 30% na Figura 8 e da Coreia do Sul e da China, na Figura 9, ambas com 23% no número de trabalhos publicados na área do biogás a partir do soro de leite e dos dejetos suínos pode ser relacionado com a base da matriz energética e da geração de resíduos deles a partir das suas atividades econômicas. A matriz energética da Grécia é composta por 48,4% de petróleo, 24,2% de carvão mineral e 11,5% de gás natural. Na Coreia do Sul a matriz energética é composta por petróleo, carvão mineral e energia nuclear, com 37,7%, 29,6% e 15,7%, respectivamente. As renováveis representam somente 1,5% das fontes de energia do país. A China possui 66,6% de sua matriz energética baseada no carvão mineral, seguido pelo petróleo com 18,0% e as fontes renováveis com 8,4% (BRASIL, 2017). Esses números revelam a importância de se buscar novas fontes de energia, a fim de diversificar a matriz energética, diminuindo a dependência desses combustíveis fósseis.

De acordo com o Observatory of Economic Complexity, o OEC, a Grécia responde com 2,0% da produção mundial de queijo e conseqüentemente gerando uma grande quantidade de soro de leite. Em relação aos produtos frigoríficos, a China é a maior exportadora mundial com 21%, a Coreia do Sul responde por 6,5% do setor. Em relação ao comércio de suínos, a China aparece com 18% do total mundial.

Sob essas perspectivas, de matriz energética e geração de resíduos, é possível explicar o destaque da Grécia, Coreia do Sul e China no desenvolvimento de trabalhos relacionados à produção de biogás a partir do soro de leite e dejetos suínos, seja pela digestão ou codigestão anaeróbias.

4 Conclusões

Os artigos presentes na revisão variaram de 1988 a 2017, com destaque para os anos de 2012 e 2015. Foram contabilizadas 16 diferentes revistas, sendo o periódico “Bioresource Technology”, com maior número de artigos publicados. A codigestão de maior expressividade foi de dejetos suíno com resíduos agrícolas e soro de leite com dejetos de vaca, com 23% e 22% do total, respectivamente. O maior percentual de trabalhos considerou a digestão anaeróbia, ou seja, a produção de biogás a partir de dejetos suíno ou soro de leite sozinhos. Sobre a origem dos artigos presentes nessa revisão, 30% pertenciam à Grécia, com trabalhos referentes ao soro de leite e 23% pertenciam à Coreia do Sul e China para os artigos considerando os dejetos suínos. Dentre os artigos científicos utilizados na revisão bibliográfica não se encontrou estudo com a codigestão anaeróbia de dejetos suínos juntamente com o soro de leite.

Referências

ARAÚJO, I. S.; OLIVEIRA, J. L. R.; ALVES, R. G. C.; BELLI FILHO, P.; COSTA, R. H. R. Avaliação de sistema de tratamento de dejetos suínos instalados no Estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental – Agriambi**. v. 16, n. 7, 2012.

AVACI, A. B.; SOUZA, S. N. M.; WERNCKE, I.; CHAVES, L. I. Financial economic scenario for the microgeneration of electric energy from swine culture-originated biogas. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. v. 25, p. 272-276, 2013.

BERTIN, L.; GRILLI, S.; SPAGNI, A.; FAVA, F. Innovative two-stage anaerobic process for effective codigestion of cheese whey and cattle manure. **Bioresource Technology**. v. 128, p. 779-783, 2013.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA n. 430 de 13 de maio de 2011. **Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA**.

BRASIL. Fundação Estadual do Meio Ambiente. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. **Guia Técnico Ambiental da Indústria de Laticínios**. Minas Gerais: Feam, 2014. 37 p.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Energia no mundo: 2015-2016**. Brasília: Brasil, 2017. 42 p.

BRASIL. Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. **Mapeamento da suinocultura brasileira**. Brasília: Sebrae, 2016. Acessado em 03/10/2017. Web Page <http://data.novo.gessulli.com.br/file/2016/12/06/H151515-F00000-B617.pdf>.

CARLINI, M.; CASTELLUCCI, S.; MONETI, M. Biogas production from poultry manure and cheese whey waste water under mesophilic conditions in batch reactor. **Energy Procedia**. v. 82, p. 811-818, 2015.

CARVALHO, F.; PRAZERES, A. R.; RIVAS, J. Cheese whey wastewater: characterization and treatment. **Science of the Total Environment**. v. 445, p. 385-396, 2013.

CARVALHO, G. R. A indústria de laticínios no Brasil: passado, presente e futuro. Embrapa Gado de Leite - **Circular Técnica (INFOTECA-E)**, 2010. Acessado em 03/10/2017. Web Page <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/870411>.

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Guia Técnico Ambiental da Indústria de Produtos Lácteos – Série P+L**, 2008, 95p.

CHAE, K. J.; JANG, A. M.; YIM, S. K.; KIM, I. S. The effects of digestion temperature and temperature shock on the biogas yields from the mesophilic anaerobic digestion of swine manure. **Bioresource Technology**. v. 99, n. 1, p. 1-6, 2008.

COMINO, E.; RIGGIO, V. A.; ROSSO, M. Biogas production by anaerobic co-digestion of cattle slurry and cheese whey. **Bioresource Technology**. v. 114, p. 46-53, 2012.

CÓRDOBA, V.; FERNÁNDEZ, M.; SANTALLA, E. The effect of different inoculums on anaerobic digestion of swine wastewater. **Journal of Environmental Chemical Engineering**. v. 4, n. 1, p. 115-122, 2016.

COSTA, M. S. S. M.; LUCAS JÚNIOR, J.; COSTA, L. A. M.; ORRICO, A. C. A. A highly concentrated diet increases biogas production and the agronomic value of young bull's manure. **Waste Management**. v. 48, p. 521-527, 2016.

DAREIOTI, M. A.; KORNAROS, M. Anaerobic mesophilic co-digestion of ensiled sorghum, cheese whey and liquid cow manure in a two-stage CSTR system: effect of hydraulic retention time. **Bioresource Technology**. v. 175, p. 553-562, 2015

DENG, L.; CHEN, Z.; YANG, H.; ZHU, J.; LIU, Y.; LONG, Y.; ZHENG, D. Biogas fermentation of swine slurry based on the separation of concentrated liquid and low content liquid. **Biomass and Bioenergy**. v. 45, p. 187-194, 2012.

DE OLIVEIRA, O. D. J.; MIYASHIRO, C. S.; SCHNEIDER, L. T.; BONASSA, G.; CREMONEZ, P. A.; TELEKEN, J. G. Utilização do bagaço de cana-de-açúcar como adsorvente na redução da acidez de óleo residual para produção de biodiesel. **Revista Tecnológica**. 83-91, 2014.

DIAMANTIS, V. I.; KAPAGIANNIDIS, A. G.; NTOUGIAS, S.; TATAKI, V.; MELIDIS, P.; AIVASIDIS, A. Two-stage CSTR-UASB digestion enables superior and alkali addition-free cheese whey treatment. **Biochemical Engineering Journal**. v. 84, p. 45-52, 2014.

AMARAL, A. C.; KUNZ, A.; STEINMETZ, R. L. R.; SCUSSIATO, L. A.; TÁPPARO, D. C.; GASPARETO, T. C. Influence of solid-liquid separation strategy on biogas yield from a stratified swine production system. **Journal of Environmental Management**. v. 168, p. 229-235, 2016.

ERGÜDER, T. H.; TEZEL, U.; GÜVEN, E.; DEMIRER, G. N. Anaerobic biotransformation and methane generation potential of cheese whey in batch and UASB reactors. **Waste Management**. v. 21, n. 7, p. 643-650, 2001.

FERNÁNDEZ, C.; CUETOS, M. J.; MARTÍNEZ, E. J.; GÓMEZ, X. Thermophilic anaerobic digestion of cheese whey: Coupling H₂ and CH₄ production. **Biomass and Bioenergy**. v. 81, p. 55-62, 2015.

GELEGENIS, J.; GEORGAKAKIS, D.; ANGELIDAKI, I.; MAVRIS, V. Optimization of biogas production by co-digesting whey with diluted poultry manure. **Renewable Energy**. v. 32, n. 13, p. 2147-2160, 2007.

GHALY, A. E. A comparative study of anaerobic digestion of acid cheese whey and dairy manure in a two-stage reactor. **Bioresource Technology**. v. 58, n. 1, p. 61-72, 1996.

GOMEZ-ROMERO, J.; GONZALEZ-GARCIA, A.; CHAIREZ, I.; TORRES, L.; GARCÍA-PEÑA, E. I. Selective adaptation of anaerobic microbial community: biohydrogen production by co-digestion of cheese whey and vegetables fruit waste. **International Journal of Hydrogen Energy**. v. 39, n. 24, p. 12541-12550, 2014.

JUNG, H.; KIM, J.; LEE, C. Continuous anaerobic co-digestion of Ulva biomass and cheese whey at varying substrate mixing ratios: Different responses in two reactors with different operating regimes. **Bioresource Technology**. v. 221, p. 366-374, 2016.

KAFLE, G. K.; KIM, S. H. Anaerobic treatment of apple waste with swine manure for biogas production: batch and continuous operation. **Applied Energy**. v. 103, p. 61-72, 2013.

KAFLE, G. K.; KIM, S. H.; SUNG, K. Batch anaerobic co-digestion of Kimchi factory waste silage and swine manure under mesophilic conditions. **Bioresource Technology**. v. 124, p. 489-494, 2012.

KAVACIK, B.; TOPALOGLU, B. Biogas production from co-digestion of a mixture of cheese whey and dairy manure. **Biomass and Bioenergy**. v. 34, n. 9, p. 1321-1329, 2010.

MACÊDO, W. V.; VALENÇA, R. M.; AMORIM, E. L. C. Produção de biohidrogênio a partir de efluentes de laticínios, lactose isolada e soro de queijo em reatores anaeróbios em batelada em temperaturas termófilas. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**. v. 6, n. 2, 2017.

MARAGKAKI, A. E.; VASILEIADIS, I.; FOUNTOULAKIS, M.; KYRIAKOU, A.; LASARIDI, K.; MANIOS, T. Improving biogas production from anaerobic co-digestion of sewage sludge with a thermal dried mixture of food waste, cheese whey and olive mill wastewater. **Waste Management**. v. 71, p. 644-651, 2018.

MOLINUEVO-SALCES, B.; GONZÁLEZ-FERNÁNDEZ, C.; GÓMEZ, X.; GARCÍA-GONZÁLEZ, M. C.; MORÁN, A. Vegetable processing wastes addition to improve swine manure anaerobic digestion: evaluation in terms of methane yield and SEM characterization. **Applied Energy**. v. 91, n. 1, p. 36-42, 2012.

MONTUELLE, B.; GOILLARD, J.; LEHY, J. B. A combined anaerobic-aerobic process for the eco-treatment of effluents from a piggery and a cheese factory. **Journal of Agricultural Engineering Research**. v. 51, p. 91-100, 1992.

MUGNAINI, R.; JANNUZZI, P.; QUONIAM, L. Indicadores bibliométricos da produção científica brasileira: uma análise a partir da base Pascal. **Ciência da Informação**. v. 33, n. 2, 2004.

OEC. **Observatory of Economic Complexity**. Acessado em 21/07/2018. Web Page <https://atlas.media.mit.edu/pt/>.

PELEGRINE, D. H. G.; CARRASQUEIRA, R. L. Aproveitamento do soro do leite no enriquecimento nutricional de bebidas. **Brazilian Journal of Food Technology**. VII BMCFB, p. 145-151, 2008.

PRAZERES, A. R.; CARVALHO, F.; RIVAS, J. Cheese whey management: A review. **Journal of Environmental Management**. v. 110, p. 48-68, 2012.

RANUCCI, C. R.; ALVES, H. J.; SILVA, C.; MONTEIRO, M. R.; SANTOS, K. A.; BARICCATTI, R. A.; SILVA, E. A. Obtenção de bioquerosene de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) e suas misturas ao querosene fóssil. **Revista Tecnológica**. 43-52, 2014.

RIAÑO, B.; MOLINUEVO, B.; GARCÍA-GONZÁLEZ, M. C. Potential for methane production from anaerobic co-digestion of swine manure with winery wastewater. **Bioresource Technology**. v. 102, n. 5, p. 4131-4136, 2011.

RICO, C.; MUÑOZ, N.; FERNÁNDEZ, J.; RICO, J. L. High-load anaerobic co-digestion of cheese whey and liquid fraction of dairy manure in a one-stage UASB process: limits in co-substrates ratio and organic loading rate. **Chemical Engineering Journal**. v. 262, p. 794-802, 2015.

RICO, C.; MUÑOZ, N.; RICO, J. L. Anaerobic co-digestion of cheese whey and the screened liquid fraction of dairy manure in a single continuously stirred tank reactor process: Limits in co-substrate ratios and organic loading rate. **Bioresource Technology**. v. 189, p. 327-333, 2015.

SCHAFFER, J. V.; ALVES, H. J.; MARTIN NETO, A. J.; LOPES, D. G.; KUGELMEIER, C. L.; SANTOS, G. R. Potencial de Produção de Hidrogênio a partir da Reforma Catalítica do Biogás na Região Oeste do Paraná. **Revista Tecnológica**. v. 23, n. 1, p. 119-129, 2015.

SCHERER, E. E.; NESI, C. N.; MASSOTTI, Z. Atributos químicos do solo influenciados por sucessivas aplicações de dejetos suínos em áreas agrícolas de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s.l.], v. 34, n. 4, p. 1375-1383, 2010.

SERAFIM, C. C.; REGO, F. C. A.; FABRIS, J. T.; MOLINA, J. F.; LUPO, C. R.; GASPARINI, M. J.; SEMCHECHEM, R.; SBIZERA, M. C. R.; ZUNDT, M.; SANTOS, J. S. Consumo de Nutrientes e Perfil Metabólico de Cordeiros Confinados com Diferentes Teores de Soro de Leite em Pó na Dieta. **UNICIÊNCIAS**. v. 21, n. 1, p. 7-11, 2017.

SILVA, F. P.; BOTTON, J. P.; SOUZA, S. N. M.; HACHISUCA, A. M. M. Parâmetros Físico-Químicos na Operação de Biodigestores para Suinocultura. **Revista Tecnológica**. p. 33-41, 2015.

SPACHOS, T.; STAMATIS, A. Thermal analysis and optimization of anaerobic treatment system of whey. **Renewable Energy**. v. 36, n. 8, p. 2097-2105, 2011.

VIVEKANAND, V.; MULAT, D. G.; EIJSINK, V. G. H.; HORN, S. J. Synergistic effects of anaerobic co-digestion of whey, manure and fish ensilage. **Bioresource Technology**. v. 249, p. 35-41, 2018.

VENETSNEAS, N.; ANTONOPOULOU, G.; STAMATELATOU, K.; KORNAROS, M.; LYBERATOS, G. Using cheese whey for hydrogen and methane generation in a two-stage continuous process with alternative pH controlling approaches. **Bioresource Technology**. v. 100, n. 15, p. 3713-3717, 2009.

XIA, Y.; MASSÉ, D. J.; MCALLISTER, T. A.; BEAULIEU, C.; UNGERFELD, E. Anaerobic digestion of chicken feather with swine manure or slaughterhouse sludge for biogas production. **Waste Management**. v. 32, n. 3, p. 404-409, 2012.

WU, X.; YAO, W.; ZHU, J. Biogas and CH₄ productivity by co-digesting swine manure with three crop residues as an external carbon source. **Bioresource Technology**. v. 101, n. 11, p. 4042-4047, 2010.

YANG, D.; DENG, L.; ZHENG, D.; LIU, G.; YANG, H.; WANG, L. Separation of swine wastewater into solid fraction, concentrated slurry and dilute liquid and its influence on biogas production. **Fuel**. v. 144, p. 237-243, 2015.

YANG, H.; DENG, L.; LIU, G.; LIU, Y.; CHEN, Z. A model for methane production in anaerobic digestion of swine wastewater. **Water Research**. v. 102, p. 464-474, 2016.

YAN, J. Q.; LIAO, P. H.; LO, K. V. Methane production from cheese whey. **Biomass**. v. 17, n. 3, p. 185-202, 1988.