



“TEN YEARS WORKING TOGETHER FOR A SUSTAINABLE FUTURE”

## Otimização da produção de metano através da codigestão anaeróbica dos resíduos da suinocultura

CAILLOT, V. A.<sup>a</sup>, SOUZA, J.<sup>a</sup>, SILVA, C. B.<sup>a</sup>, SECCO C.<sup>a</sup>, FRANCISCO, A. C.<sup>a</sup>

*a. Universidade Tecnológica Federal do Paraná*

\*Corresponding author, [vanessacailot@hotmail.com](mailto:vanessacailot@hotmail.com)

### Abstract

Continuous primary energy consumption has motivated the scientists of the world to search for renewable energy sources that could substitute fossil fuels. Anaerobic co-digestion has been cited in the literature as effective way to treat waste from swine breeding and to produce biogas for the generation of energy, but for efficiency in methane production it is important to choose the best co-substrate and a mixing ratio more efficient. The objective of this study was to investigate in the literature the substrates that have been used, the amount of methane generated and the difficulties and advantages associated with the process. The results demonstrated superior yield of methane production with the anaerobic co-digestion with respect to DA of the animal manure alone. Proving that the choice of complementary substrate generates the equilibrium of several parameters of the cosubstrate mixture: macro and micronutrients, C:N ratio, pH, toxic compounds generated higher biogas production and greater plant viability.

**Keywords:** *Anaerobic codigestion, swine waste, biogas.*

### 1. Introdução

O consumo de carne suína representa 44% do mercado mundial com excelentes perspectivas de crescimento ABPA (2015), com a demanda crescente e o aumento da produção em escala eleva-se a preocupação com os resíduos decorrentes da atividade, fazendo-se primordial a necessidade de adoção de sistemas de gestão de resíduos que reduzam o impacto ambiental.

O tratamento os resíduos da suinocultura através da digestão anaeróbica (DA) proporciona a redução do impacto ambiental decorrente da atividade, resulta em fertilizante que é o subproduto da DA e pode ser utilizado nas atividades agrícolas após o processo de estabilização e ainda proporciona benefício econômico com a produção do biogás que pode seu utilizado desde o aquecimento da pocilga, como combustível veicular após a purificação, pode ser vendido como GNV ou até convertido em energia elétrica, reduzindo assim os custos de produção da propriedade. Para Riaño e Gonzáles (2015) a introdução de sistemas alternativos de gestão do estrume suíno oferece vantagens ambientais e financeiras, portanto devem ser considerados como um sistema complementar no desenvolvimento destas tecnologias.

“TEN YEARS WORKING TOGETHER FOR A SUSTAINABLE FUTURE”

São Paulo – Brazil – May 24<sup>th</sup> to 26<sup>th</sup> - 2017

Diante do exposto ressalta-se a importância de aperfeiçoar a produção de biogás através dos resíduos advindos da suinocultura, embora o aproveitamento econômico dos dejetos suínos para a produção de biogás não seja uma prática nova, os processos comerciais são com frequência operados bem abaixo de um desempenho ótimo devido a uma variedade de fatores como condições ambientais no digestor, temperatura, pH, capacidade tampão e concentrações de ácidos graxos (WARD, HOBBS e HOLLIMAN, 2008). Tradicionalmente a produção de biogás a partir de estrume animal tem sido realizada através da monodigestão, embora adequada e viável, o uso de estrume animal sozinho pode não representar a maneira mais eficiente de produzir biogás devido à baixa relação carbono/ nitrogênio do substrato (YU *et al.* 2010). Para Angelidaki *et al.* (2011) a digestão de resíduos suínos sozinho não é viável devido ao baixo teor de sólidos, e o baixo rendimento de biogás cerca de 10-20 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> por tonelada de substrato.

A codigestão anaeróbica é a digestão simultânea de dois ou mais substratos. A Codigestão anaeróbica tem sido citada na literatura como uma forma eficaz de reduzir os inconvenientes da monodigestão através do equilíbrio de macro e micronutrientes, equilíbrio de umidade e ou compostos inibitórios ou tóxicos alavancando a produção de biogás e melhorando a viabilidade econômica das plantas. Sendo assim é importante escolher o melhor cosubstrato e uma relação de mistura mais eficaz (MATA-ALVAREZ *et al.* 2014).

Apesar da variedade de trabalhos publicados, a maioria destes trabalhos se refere a experimentos isolados, em sua maioria são experimentos em laboratório a fim de melhorar o processo de DA. Com isso esta pesquisa tem o objetivo de reunir conhecimentos que possam auxiliar a otimização da produção de metano em sistemas de DA existentes, assim como auxiliar futuras implementações de sistemas de DA fornecendo informações sobre os principais cosubstratos que podem ser digeridos com os dejetos suínos, a proporção que tem sido utilizados, a quantificação do biogás gerado a partir da adição destes substratos, as dificuldades associadas a codigestão destes substratos e os benefícios apontados.

## 2. Métodos

Foram utilizadas três combinações de palavras chave na língua inglesa na base de dados *Science direct*: *swine waste e anaerobic codigestion*, *pig waste e anaerobic codigestion* e *pig manure e anaerobic codigestion*. Foram encontrados 18, 39, 57 artigos respectivamente. A busca restringiu-se aos artigos que continham as palavras chave no título, resumo ou palavras chave no período de 2007 a 2017. Muitos dos artigos se repetiram com as variações de palavras chave, após a exclusão dos artigos repetidos os trabalhos foram analisados e escolhidos segundo a presença seguintes critérios:

- A presença de resíduos suínos na codigestão como substrato principal ou co-substrato;
- A Razão da mistura utilizada;
- A quantidade de CH<sub>4</sub> expressa em volume/ quantidade de sólidos voláteis (SV).

Foram encontrados 28 artigos segundo os critérios estabelecidos na pesquisa. Em seguida os dados referentes à quantidade de metano foram transformados na mesma unidade de medida a fim de facilitar a comparação. Realizada esta etapa, foram separados os dados dos substratos segundo suas características e realizada uma análise das limitações e benefícios apontados com a codigestão.

## 3. Resultados e discussão

Todas as pesquisas realizadas demonstraram rendimento superior da codigestão anaeróbica em relação a DA do estrume animal sozinho. Rendimentos ótimos de produção de metano demonstram que o estrume suíno foi digerido com substratos complementares. Para Abalde *et al.* (2016) o sucesso da codigestão consiste na seleção de substratos que preenchem as deficiências do substrato escolhido.

O esterco suíno é caracterizado pela alta capacidade tampão pela variedade de micro e macronutrientes necessários para o crescimento dos micro-organismos responsáveis pela DA, no entanto, o esterco suíno possui elevada concentração de nitrogênio e amônio e baixo teor de matéria

orgânica (HARTMANN e AHRING, 2006). Os dejetos suínos se caracterizam ainda por um elevado teor de água, juntamente com uma fração elevada de fibras, principal razão para a baixa produção de metano por peso (FERREIRA, DUARTE e FIGUEIREDO, 2012).

Para que codigestão anaeróbica seja bem sucedida é necessário o equilíbrio de vários parâmetros da mistura do cosubstrato: macro e micronutrientes, relação C: N, pH, compostos tóxicos, matéria orgânica biodegradável e matéria seca (HARTMANN *et al.* (2003).

Os resíduos suínos incluem resíduos do processamento industrial (como restos da produção de biodiesel, azeite de oliva, batatas e beterraba), resíduos agrícolas (milho, arroz, trigo, capim), resíduos de cozinha, algas e lixo. A tabela 1 demonstra os resíduos encontrados nas pesquisas, a proporção em que foram utilizados e a quantidade de biogás gerado.

**Tabela 1** – Proporção de resíduos codigeridos e CH<sub>4</sub> gerado

Resíduos	Proporção	CH <sub>4</sub> m <sup>3</sup> /kg SV	Autor
Dejetos suínos e algas azuis	50:30:00	0,2127	Miao <i>et al.</i> (2014)
Esterco suíno e resíduo oleoso da produção de biodiesel (ROB)	7% ROB	0,326	Fierro <i>et al.</i> (2014)
Dejetos suínos e óleo de cozinha	7% óleo de cozinha	0,31	Lansing <i>et al.</i> (2010)
Dejetos suínos e vegetais (milho, cenoura e alho poro)	75:25:00	0,244	Molinuevo-Salces <i>et al.</i> (2013)
(M1) sólidos bovinos e restos de abatedouro de suínos composto de 57% de rúmen 33,5% e 9,4% de restos de panificação (M2) 71% de estrume bovino e 29% de estrume suíno (M3) frutas e legumes	(M1)17% (M2) 17 % (M3) 67%	0,3	Mata-Alvarez e Lidén (2008)
Lixo, dejetos de suínos, esterco de gado leiteiro	01:19:12	0,27	Liu <i>et al.</i> (2009)
Esterco suíno, M1 (70%resíduos de repolho, farelo de arroz 30%)	M1 67%	0,392	Kafle, Kim e Sung (2012)
Estrume suíno e talo de milho	70:30:00	0,14632	Zhang <i>et al.</i> (2015)
Dejetos suínos e lixo	01:03	0,68912	Feng <i>et al.</i> (2008)
Bagaço de azeite e dejetos suíno	80:20:00	0,2743	Orive <i>et al.</i> (2016)
Estrume de porco e resíduos alimentares	01:04	0,521	Dennehy <i>et al.</i> (2016)
Esterco suíno, resíduos de matadouro e glicerina	35:47:01	0,38	Abalde, Flotats e Fernández (2016)
Esterco suíno e resíduo de cozinha	01:01	0,409	Tian <i>et al.</i> (2015)
Esterco suíno e resíduos de óleos vegetais	01:03	0,042	Hidalgo e Marroquim (2014)
Esterco suíno e óleo de sardinha	95:05:00	0,3839	Ferreira, Duarte e Figueiredo (2012)
Resíduos de cozinha, esterco de porco e palha de arroz	0,4: 1,6: 1	0,3839	Ye <i>et al.</i> 2013
Estrume de porco e resíduos de batata	80:20:00	0,28	Karapaju e Rintala (2005)
Misturas de resíduos industriais, estrume de porco e resíduos de matadouros	17:71:12	0,682	Murto, Bjonsone Mattiasson (2004)
Estrume Suíno e resíduos de beterraba sacarina	92:08:00	0,464	Aboudi, Álvarez e Garcia (2017)
Esterco suíno e lodo de esgoto desidratado	02:01	0,315	Zhang <i>et al.</i> (2014)
Estrume de porco e capim ensilado	02:01	0,352	Tsapekos <i>et al.</i> (2017)
Estrume de porco e glicerol resíduo da produção biodiesel	3% Glicerol	0,00047	Atals, Ardevol e Alvarez (2013)
Palha de arroz e esterco de porco	01:01	0,26723	Li <i>et al.</i> (2015)
Estrume de porco e silagem de capim seco (SCS)	40% DE SCS	0,2712	Xie <i>et al.</i> (2012)
Esterco de porco e silagem de capim	03:01	0,3042	Xie <i>et al.</i> (2011)

Estrume de porco, efluente de lavagem de azeitonas e estrume de gado	35:30:35	0,35	Zarkadas e Pilidis ((2011)
Estrume de porco e talo de milho	03:07	0,28155	Wang <i>et al.</i> 2016
Estrume de porco e resíduos de mandioca	80:20	0,391	Panichnumsin <i>et al.</i> (2010)

**Fonte:** Autoria própria

### 3.1 A codigestão de estrume com resíduos ricos em lipídios

O estrume suíno codigerido com substratos ricos em lipídios se mostrou eficaz para melhorar o rendimento de metano, uma pequena porcentagem de resíduos oleosos como cosubstrato se mostrou eficiente para o aumento da produção metano (FIERRO *et al.* 2014). Os resultados de Leasing *et al.* (2010) demonstram um aumento de 124% na produção de metano. Este número pode ser justificado devido à codigestão de estrume com resíduos ricos em lipídios proporcionar o aumento da resistência do biodigestor a acidificação (MURTO *et al.* 2014).

A codigestão anaeróbica tem sido uma estratégia eficaz para superar os problemas devido ao acúmulo de ácidos gordos voláteis de cadeia longa (AGVL) normalmente são relatados na DA de resíduos oleosos causando formação de espuma, entupimento, flutuação de material dentro do reator e inibição da atividade microbiana (MATA-ALVAREZ *et al.* 2014).

Fierro *et al.* (2014) relatou que o aumento do tempo de retenção hidráulica (TRH) de 30 para 50 dias proporcionou melhor aclimação dos micro-organismos e evitou a inibição por AGVL. Na experiência relatada por Hidalgo e Marroquin (2014) os consórcios microbianos aclimatados aceleram o arranque do processo de digestão, os autores obtiveram um rendimento metano 30% superior quando digeriram resíduos de estrume e óleo com micro-organismos aclimatados.

A co-digestão das águas residuais da criação de suínos e do óleo de sardinha (5%) aumentou a produtividade de metano em quatro vezes, quando comparada com o mesmo sistema digerindo a pasta de porco como o monossustrato (FERREIRA, DUARTE e FIGUEIREDO, 2012). Um estudo semelhante de Angelidaki e Ahring (1997) atribui a otimização da produção de metano a maior concentração de lipídios e a maior biodegradabilidade das águas residuais contendo óleo em relação ao estrume sozinho (FERREIRA, DUARTE e FIGUEIREDO, 2012).

Orive, Cebrián e Zufia (2016) obtiveram ótimas taxas de metano na codigestão de resíduos do processamento de azeite de oliva, este resíduo se caracteriza por ter um baixo pH e alcalinidade, baixo teor de azoto, elevado teor de lipídios e compostos fenólicos que são extremamente tóxicos para micro-organismos (BORJA *et al.* 1998). Diferentes pré-tratamentos e adição químicas tem sido relatados a fim de superar a toxicidade destes resíduos, porém estes representam um aumento de custo no processo (GALEGENIS *et al.*, 2007).

A codigestão dos resíduos de azeite de oliva com dejetos suínos se mostrou uma alternativa viável para superar a toxicidade e inibição causados pela mono-digestão sendo degradados com maior eficiência, revelando um processo estável com ótimas taxas de produção de metano. A melhor produção de metano ocorreu sob COV de 2,72 g VS /dia e 24 dias TRH (ORIVE, CEBRIÁN E ZUFIA, 2016).

### 3.3 A codigestão de resíduos suínos com resíduos alimentares

Os resíduos alimentares se caracterizam pelo elevado teor de matéria orgânica, compostos por carboidratos, matérias gordas e proteínas são uma matéria prima atraente para a DA (LIN *et al.* 2011). No entanto a monodigestão de resíduos alimentares podem gerar rápida queda de pH no reator e conseqüentemente a acumulação de ácidos gordos voláteis (AGV) podendo causar inibição da produção de metano (TIAN *et al.*, 2015).

A codigestão anaeróbica de resíduos alimentares com resíduos suínos não foi muito relatada nas pesquisas, o acúmulo de AGV e o excesso de amoníaco são os principais fatores de inibição relatados nas pesquisas (TIAN *et al.* 2015; DENNEHI *et al.* 2016).

Tian *et al.* (2015) observou uma severa inibição da produção de metano quando os resíduos alimentares foram superiores a 50% da matéria prima digerida, havendo o acúmulo de AGVs especialmente dos ácidos propiônico e butírico. Quando os resíduos suínos e alimentares foram digeridos em igual proporção de 1:1 houve estabilidade no processo, melhora da biodegradabilidade e maximização dos rendimentos de metano. A redução do tempo de digestão também foi observada o que é muito conveniente para a viabilidade econômica das plantas de DA. Ye *et al.* (2013) constatou a inibição por AGV quando a adição de resíduos de cozinha foi superior a 26%, nos testes bem sucedidos os AGV dominantes foram o propionato e acetato.

O experimento de Dennehi *et al.* (2016) alcançou maior produção de metano dentre as pesquisas analisadas, com uma proporção de 1:4 (esterco suíno, resíduos alimentares) não foi relatada a inibição grave por AGV ou amoníaco. Segundo o autor as altas concentrações iniciais de AGV não explicaram a sinergia observada, já que normalmente o AGV é rapidamente convertido em metano, seguido por um período em que a hidrólise se torna o passo limitante da velocidade, os autores atribuem a eficiência da DA à maior concentração de metais no estrume em comparação com os resíduos alimentares, com isso o ácido butírico foi apenas ligeiramente degradado o que pode ter sido causado por concentrações elevadas de Zn que inibem a proliferação de bactérias degradadoras de ácido butírico.

Os resultados demonstram que é possível maximizar os rendimentos de metano através da codigestão de esterco suíno com resíduos alimentares aumentando a produção e com isso a viabilidade comercial dos sistemas DA .

### 3.4 A codigestão de resíduos suínos com resíduos industriais

Os substratos provenientes de atividades industriais são os que mais aparecem nas pesquisas de codigestão anaeróbica, também se destacam no rendimento da produção do biogás. Segundo Mata-Alvarez *et al.* (2014 ) os resíduos utilizados são comumente provenientes da agroindústria, a seleção destes resíduos se dá em função da sua disponibilidade na área geográfica das unidades de biogás. Contudo a escolha dos resíduos se dá pelas interações positivas com o substrato principal proporcionando assim elevado rendimento em biogás. A tabela 2 demonstra os substratos utilizados nas pesquisas segundo a ordem de rendimento de metano.

**Tabela 2-** Rendimentos de CH<sub>4</sub> codigestão anaeróbica de dejetos suínos e resíduos industriais:

Resíduos	CH <sub>4</sub> m <sup>3</sup>
Misturas de resíduos industriais, estrume de porco e resíduos de matadouros	0,682
Estrume Suíno e resíduos de beterraba sacarina	0,464
Esterco suíno, M1 (70%resíduos de repolho, farelo de arroz 30%)	0,392
Estrume de porco e resíduos de mandioca	0,391
Esterco suíno, resíduos de matadouro e glicerina	0,38
Estrume de porco, efluente de lavagem de azeitonas e estrume de gado	0,35
(M1) sólidos bovinos e restos de abatedouro de suínos composto de 57% de rúmen 33,5% e 9,4% de restos de panificação (M2) 71% de estrume bovino e 29% de estrume suíno (M3)frutas e legumes	0,3
Estrume de porco e resíduos de batata	0,28
Dejetos suínos e vegetais (milho, cenoura e alho poro)	0,244
Estrume de porco e glicerol resíduo da produção biodiesel	0,00047

#### Autoria: Própria

A digestão dos resíduos orgânicos derivados da transformação industrial podem apresentar limitações como a toxicidade dos resíduos, baixo Ph, fraca capacidade de tamponamento, acúmulo de AGV e acúmulo de altos níveis de amônia livre resultante da degradação dos componentes proteicos. Com isso a codigestão destes resíduos com os dejetos suínos tem se mostrado bem sucedida, uma vez que os adubos suínos podem proporcionar uma alta capacidade de tamponamento, alto teor de amônia e uma ampla gama de nutrientes necessários aos metanogênese (ANGELIDAKI E AHRING, 1997).

A Mistura de resíduos industriais, estrume de porco e resíduos de matadouros proporcionou melhor rendimento de metano dentre a codigestão de resíduos suínos e resíduos industriais. A mistura bem sucedida de diferentes resíduos resulta num melhor desempenho da digestão, melhorando o conteúdo dos nutrientes e reduzindo mesmo o efeito negativo dos compostos tóxicos sobre o processo de digestão. As elevadas taxas de amoníaco do estrume faz com que este seja codigerido com resíduos que têm elevado teor de carbono para melhorar a relação C/N.

A codigestão de resíduos suínos e beterraba relatou o segundo numero mais expressivo de produção de metano. Aboudi, Álvarez e Garcia (2017) pesquisaram a influência da concentração de ST na digestão anaeróbia dos subprodutos da beterraba e a codigestão com 5 e 8% de estrume de animais. Os rendimentos da codigestão com 5 % de ST foram 1,5 vezes superiores aos operados a 8%. Os autores constataram ainda que o acúmulo de concentrações elevadas de AGV, especificamente o ácido propiônico que são críticos para a estabilidade do processo. A codigestão foi eficaz para solucionar o atraso no início da produção de biogás devido à inibição causada pela acumulação de AGV na monodigestão do subproduto da beterraba.

A sazonalidade dos produtos e características físicas como teor de umidade dos resíduos da fabrica de Kimchi (produto da fermentação do reponho chinês) foram uma das razões para a codigestão do produto com farelo de arroz, o subproduto agrícola contém baixo teor de umidade e pode ser preservado por um longo tempo, a mistura dos resíduos mostrou-se excelente para a preparação de silagem. A escolha do estrume suíno para a codigestão se deu em virtude da elevada capacidade de tamponamento (alcalinidade) mostrando-se uma alternativa eficaz para o tratamento de materiais altamente biodegradáveis. A codigestão da silagem proporcionou maior remoção de ST e SV na codigestão com esterco de suínos em relação ao esterco sozinho. O rendimento de biogás aumentou de 19% para 57% (KAFLE, KIM e SUNG 2012).

A polpa de mandioca é um subproduto importante produzido em uma fábrica de amido de mandioca, contendo de 50-60% de amido, os carboidratos facilmente degradáveis destes resíduos afetam a estabilidade do digestor, a codigestão com esterco de suíno ajuda a aumentar a capacidade de tamponamento e proporciona uma fonte de nitrogênio para a síntese microbiana que resulta num processo de digestão anaeróbica estável. Os resultados mostraram que a codigestão resultou em maior produção de metano e redução de SV, melhorando a capacidade de tamponamento comparado com a digestão de estrume sozinho, o rendimento específico de metano aumentou 41% quando codigerido com poupa de mandioca em concentrações de até 60% do SV (PANICHNUMSIN *et al.* 2010).

Atals, Ardevol e Alvarez (2013) observaram uma produção 180% superior adicionando 3% de glicerol (subproduto da produção de biodiesel) ao esterco suíno em temperatura termofílica. Os resultados foram adquiridos com o dobro de taxa de carga orgânica, foram observadas: Alta biodegradabilidade, rápida redução da concentração de amônia livre e a melhora da relação carbono-nitrogênio. Com tudo, a análise da matéria orgânica (proteína, lipídios, carboidratos e fibras) dos digestores, juntamente com a produção de biogás, indicaram que os microorganismos tiveram quantidades satisfatórias de nutrientes com a adição do glicerol na digestão.

Outros benefícios da codigestão anaeróbica verificados na análise das publicações sobre a digestão de dejetos suínos com resíduos industriais foram listados no quadro 1.

**Quadro 1 – Benefícios apontados na codigestão de resíduos suínos e resíduos industriais:**

<b>Benefícios apontados</b>	<b>Autores</b>
1. Aumento da produção de metano	(Murto Bjonsson e Mattiason ), (Panichnumsin <i>et al.</i> 2010), Kafle, Kim e Sung (2012) Alvarez e Lidén (2008), (Kafle, Kim e Sung 2012, Karapaju e Rintala (2005), Molinuevo-Salces <i>et al.</i> (2013)
2. Equilíbrio do teor de nutrientes	(Alvarez e Lidén (2008), Atals, Ardevol e Alvarez (2013), Karapaju e Rintala (2005)
3. Otimização da relação carbono/nitrogênio	(Alvarez e Lidén (2008)
4. Redução dos compostos tóxicos	(Alvarez e Lidén (2008), Molinuevo-Salces <i>et al.</i> (2013)

5. Aumento da capacidade de tamponamento	(Kafle, Kim e Sung 2012), Mazareli et al. (2016)
6. O aumento da biodegradabilidade e do potencial de metano	Molinuevo-Salces et al. (2013, Atals, Ardevol e Alvarez (2013), (Kafle, Kim e Sung 2012
7. Estabilidade do processo	Panichnumsin et al., (2010), Molinuevo-Salces et al. (2013)
8. Melhora o desempenho do reator em termos de produção de metano e redução de sólidos	Panichnumsin et al., 2010), Kafle, Kim e Sung (2012)
9. O aumento da carga orgânica	Mazareli et al. (2016), Atals, Ardevol e Alvarez (2013)
10. Aumento das taxas de remoção de matéria orgânica	Mazareli et al. (2016)
11. Viabilidade econômica das plantas	Atals, Ardevol e Alvarez (2013), (Kafle, Kim e Sung 2012

**Fonte: Autoria própria**

### 3.5 A codigestão de resíduos suínos com resíduos agrícolas

O estrume animal mostrou ser um excelente substrato para a codigestão palhas de colheita, devido ao equilíbrio das relações carbono-nitrogênio de substratos, atingindo um balanço de nutrientes para microrganismos, a obtenção de um pH adequado durante a digestão e o aumento da capacidade de tamponamento proporcionando um ambiente favorável às reações químicas da produção de biogás (WANG et al. 2016).

Zhang et al (2015) investigou a influencia do Ph na codigestão de dejetos suínos e talos de milho, o estudo constatou que o valor inicial do pH tem grande influencia sobre a eficiência da codigestão anaeróbica A razão de AGV e alcalinidade consideradas para a atividade metanogênica estava na gama de 0,1- 0,3 numa proporção de 70% de estrume de 30% de resíduo de milho, o pH inicial de 6,81 foi o ideal para atingir a produção máxima de biogás total 146,32 mL/g VS. O elevado valor inicial do pH foi elevado resultou no aumento dos valores de pH antes do final do período experimental, aumentando as possibilidades de falha do processo.

Xie et al. (2011) avaliou a estabilidade operacional e o potencial de rendimento de metano na codigestão de esterco e silagem de capim. O rendimento diário de metano foi linearmente correlacionado com a concentração de ácido acético, indicando que a produção de metano estava provavelmente associada à metanogênese acetoclástica. No estudo de Xi et al. (2012) com estrume de porco e capim seco verificou-se que a COV afetava o desempenho do digestor mais do que a proporção capim seco na matéria-prima. Triplicar a COV aumentou os rendimentos volumétricos de biogás em 88% , porém diminuiu os rendimentos específicos de metano em 38%.

O rendimento de metano da silagem de capim foi 12,3% superior com pré tratamento mecânico ao substrato, a produtividade dos reatores de biogás alimentados continuamente melhorou com a codigestão em comparação com a monodigestão de esterco de suínos. O estudo demonstrou que a produtividade dos reatores de biogás alimentados continuamente pode ser melhorada codigestão (TSAPEKOS et al. 2017) .

### 3.5 A codigestão de resíduos suínos com lixo e lodo de esgoto e algas

O rendimento mais elevado de metano foi o relatado por Feng et al. (2008) na codigestão de esterco suíno com lixo. Os autores realizaram uma série de experimentos constatando que a codigestão é um método promissor para a recuperação da bioenergia a partir de resíduos de suínos e lixo. O sistema funcionou bem para o tratamento dos materiais com uma alta COV e curto TRH. A produção mais alta relatada para a mistura foi de 865-930 L /kg de SV adicionado na COV de 5,0-5,3 kg /VS dia e com 9 dias de TRH. A remoção de SV foi de 67-75%, e a de DQO foi de 73-74%. Os resultados promissores indicam o quanto é possível a obtenção de bioenergia a partir de resíduos de suínos e lixo.

Os rendimentos de Liu et al. (2009) foram bem inferiores aos relatados na pesquisa anterior de codigestão de dejetos suínos com lixo porém foi eficaz na medida em que a proporção de lixo aos

resíduos suínos foi mantida abaixo de um certo nível. A codigestão anaeróbia de lixo, do esterco de suínos com lixo (Lixo: esterco = 1: 1) apresentou os melhores rendimentos, embora o rendimento de metano tenha sido baixo, adição de lixo no tratamento anaeróbio fez com que fermentação fosse mais rápida melhorando o desempenho do reator.

Na codigestão de esterco suíno com lodo de esgoto a razão mais eficiente da mistura foi de 2: 1 proporcionou estabilidade a reação, a produção de metano foi 82,4% superior a digestão do lodo sozinho, o resultado foi atribuído à sinergia positiva da codigestão de que proporcionou uma atividade microbiana ativa e uma maior capacidade hidrolítica do lodo de esgoto (ZHANG *et al.* 1014)

Miao *et al.* (2014) constataram que a codigestão anaeróbica de dejetos suínos com algas azuis apresentou maior eficiência na biodegradação e na produção de metano. A DA de dejetos suínos com algas azuis ajudaram na estabilidade da DA, com isso os valores de nitrogênio amoniacal, amônia e ácidos gordos voláteis não se alteraram significativamente.

#### 4.0 Considerações finais

A codigestão anaeróbica é uma alternativa viável e de baixo custo para resolver os problemas relacionados à monodigestão, a principal vantagem do processo está em ser maneira simples, ou seja de baixo custo para superar as desvantagens ligadas às características do substrato. Trata-se de tecnologia promissora e comprovada para o tratamento de resíduos orgânicos como resíduos sólidos urbanos, resíduos orgânicos industriais, estrume animal e resíduos agrícolas. A codigestão anaeróbica resolve ainda o problema de disponibilidade dos substratos em virtude da sazonalidade dos produtos agrícolas e proporciona a viabilidade econômica das plantas. O metano gerado pela codigestão anaeróbica pode ser amplamente utilizado substituindo os combustíveis fosseis usados como um combustível para veículos ou para cogeração de eletricidade e calor, com isso pode levar a reduções nas emissões de gases de efeito estufa.

#### Referencias:

Abaldea, A. R. , Flotastsc, X., Fernández, B. Optimization of the anaerobic co-digestion of pasteurized slaughterhouse waste, pig slurry and glycerine, Waste Management, 2016.

ABPA (Associação Brasileira de proteína animal) Disponível em: <<http://abpa-br.com.br/setores/avicultura/publicacoes/relatorios-anuais>> Acesso em: 02/02/2017

Aboudi, K., Álvarez-Gallego, C.J., Romero-García. L.I. Influence of total solids concentration on the anaerobic co-digestion of sugar beet by-products and livestock manures. Science of The Total Environment, 2017.

Mata-Alvarez, R. and G. Lidén (2008) Semi-continuous co-digestion of solid slaughterhouse waste, manure, and fruit and vegetable waste. Renew. Energy 33: 726–734.

Angelidaki, I., Ahring B.K., Co-digestion of olive mill wastewaters with manure, household waste or sewage sludge. Biodegradation, 8 (1997), pp. 221–226

Angelidaki, I., Karakashev, D., Batstone, D.J., Plugge, C.M., Stams, A.J., Biomethanation and its potential, Methods Enzymol., 494 (2011), pp. 327–351.

Astals, S., Nolla-Ardèvol, V., Mata-Alvarez J., Thermophilic co-digestion of pig manure and crude glycerol: process performance and digestate stability J Biotechnol, 166 (2013), pp. 97–104

Borja, R., Alba, J., Mancha, A., Martín, A., Alonso, V., Sánchez, E. Comparative effect of different aerobic pretreatments on the kinetics and macroenergetic parameters of anaerobic digestion of olive mill wastewater in continuous mode. Bioprocess Eng., 18 (1998), pp. 127–134



- Dennehy, C., Lawlor, P.G., Croize, T., Jiang, T., Morrison, L., Gardiner, G.E., Zhan, X. Synergism and effect of high initial volatile fatty acid concentrations during food waste and pig manure anaerobic co-digestion. *Waste Manage.* 56 (2016), pp. 173–180
- Feng, C.P., Shimada, S., Zhang, Z.Y., Maekawa, T. A pilot plant two-phase anaerobic digestion system for bioenergy recovery from swine wastes and garbage. *Waste Manag.* 28 (2008), pp. 1827–1834
- Ferreira, L. Duarte, E., Figueiredo, D. Utilization of wasted sardine oil as co-substrate with pig slurry for biogas production – a pilot experience of decentralized industrial organic waste management in a Portuguese pig farm *Bioresour Technol.* 116 (2012), pp. 285–289
- Fierro, Martínez, E.J., Morán, A., Gómez. Valorisation of used cooking oil sludge by codigestion with swine manure, *Waste Management*, Volume 34, Issue 8, August (2014), pp 1537-1545.
- Galegenis, J., Georgakakis, D., Angelidaki, I., Mavris, V. Optimization of biogas production by co-digesting whey with diluted poultry manure. *Renew. Energy*, 32 (2007), pp. 2147–2160
- Hartmann, H., Angelidaki, I., Arhing, B.K., Co-digestion of the organic fraction of municipal waste with other waste types *Biomethanization of the Organic Fraction of Municipal Solid Wastes*, IWA Publishing, UK (2003)
- Hartmann, H., Arhing, B.K. Strategies for the anaerobic digestion of the organic fraction of municipal solid waste: an overview. *Water Sci. Technol.*, 53 (2006), pp. 7–22
- Hidalgo, D., Marroquín, J.M.M. Effects of inoculum source and co-digestion strategies on anaerobic digestion of residues generated in the treatment of waste vegetable oils. *J. Environ. Manag.*, 142 (2014), pp. 17–22
- Kafle, G.K., Kim, S.H. I. Sung, S.H. Batch anaerobic co-digestion of Kimchi factory waste silage and swine manure under mesophilic conditions. *Bioresour Technol.* 124 (2012), pp. 489–494
- Kaparaju, P., Rintala, J., Anaerobic co-digestion of potato tuber and its industrial by-products with pig manure. *Resour Conserv Recycl.* 43 (2) (2005), pp. 175–188
- Kougiass, P. G., Kotsopoulos, T.A. G., Martzopoulos, T.A. Effect of feedstock composition and organic loading rate during the mesophilic co-digestion of olive mill wastewater and swine manure. *Renew. Energy*, 69 (2014), pp. 202–207
- Lansing, S., Martin, J. F., Botero, R.B., Nogueira da Silva, T., Dias da Silva, E. Methane production in low-cost, unheated, plug-flow digesters treating swine manure and used cooking grease. *Bioresour. Technol.*, 101 (2010), pp. 4362–4370
- Li, D., Liu, S.C., Mi, L., Li, Z.D., Yuan, Y. X., Yan, Z.Y., Liu, Z.Y. Effects of feedstock ratio and organic loading rate on the anaerobic mesophilic co-digestion of rice straw and pig manure. *Bioresour. Technol.*, 187 (2015), pp. 120–12
- Liu, K., Tang, Y.Q., Matsui, T., Morimura, S., Wu, Y.Q., Kida, K. Thermophilic anaerobic co-digestion of garbage, screened swine and dairy cattle manure *J. Biosci. Bioeng.*, 107 (2009), p. 54
- Mata-Alvarez, J., Dosta, J., Macé, S., Astals, S. Codigestion of solid wastes: a review of its uses and perspectives including modeling *Crit Rev Biotechnol.* 31 (2011), pp. 99–111
- Mata-Alvarez, J., Dosta, J., Romero-Güiza, M.S., Fonoll, X., Peces, M., Astals, S. 2014. A critical review on anaerobic co-digestion achievements between 2010 and 2013. *Renew Sust Energy Rev.* 36:412–427, 2014.

Mazareli R.C, Duda, R.C, ., Leite, V.D., Oliveira, R.A. Anaerobic co-digestion of vegetable waste and swine wastewater in high-rate horizontal reactors with fixed bed. *Waste Manage.*, 52 (2016), pp. 112–121

Miao, H.F., Wang, H.F.,. Zhao, H.F. , Huang, H.F. , . Ren, H.F. , Yan, H.F. Codigestion of Taihu blue algae with swine manure for biogas production *Energy Convers. Manag.*, 77 (2014), pp. 643–649

Molinuevo-Salces, B., Ahring, B.K., Uellendahl H., Optimization of the co-digestion of catch crops with manure using a central composite design and reactor operation *Appl. Biochem. Biotechnol.*, 175 (2015), pp. 1710–1723

Murto, M., Björnsson, L., Mattiasson, B. Impact of food industrial waste on anaerobic co-digestion of sewage sludge and pig manure *J. Environ. Manag.*, 70 (2004), pp. 101–107

Orive, M., Cebrián, M., Zufá, J. Techno-economic anaerobic co-digestion feasibility study for two-phase olive oil mill pomace and pig slurry. *Renew. Energy*, 97 (2016), pp. 532–540

Panichnumsin, P., Nopharatana, A., Ahring, B., Chaiprasert, P. Production of methane by co-digestion of cassava pulp with various concentrations of pig manure. *Biomass Bioenergy*, 34 (2010), pp. 1117–1124

Riaño, B., García-González, M.C., Greenhouse gas emissions of an on-farm swine manure treatment plant – comparison with conventional storage in anaerobic tanks *J. Clean. Prod.*, 103 (2014), pp.

Tian, H., Duan, N., Lin, K., Anaerobic co-digestion of kitchen waste and pig manure with different mixing ratios. *Journal of Bioscience and Bioengineering* V. 120, Issue 1, July (2015), Pages 51–57

Tsapekos, P., Kougias, P.G., Treu, L. Campanaro, . S., Angelidaki, I. Process performance and comparative metagenomic analysis during co-digestion of manure and lignocellulosic biomass for biogas production, *Applied Energy*, Volume 185, Part 1, 1 January( 2017), Pages 126-135

Ward, A.J., Hobbs, P.J., Holliman, Jones, D.L. Optimisation of the anaerobic digestion of agricultural resources, *Bioresour Technol*, 99 (17) (2008), pp. 7928–7940

Wang, M., Zhou, J., Yuan, Y., Dai, Y., Li, D., Li, Z., Li, Z., Liu, X. Zhang, X., Yan, Z. Methane production characteristics and microbial community dynamics of mono-digestion and co-digestion using corn stalk and pig manure. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2016

Ye, J., Li, D., Sun, Y. Wang, G., Yuan, Y. , Zhen, F. Wang Improved biogas production from rice straw by co-digestion with kitchen waste and pig manure. *Waste Manage.*, 33 (2013), pp. 2653–2658

Xie, S., Wu, G., Lawlor, P.G. Frost, J.P. Zhan, X. Methane production from anaerobic co-digestion of the separated solid fraction of pig manure with dried grass silage. *Bioresour. Technol.*, 104 (2012), pp. 289–297

Xie, S., Wu, G., Lawlor, P.G. Frost, J.P. Zhan, X. Effect of pig manure to grass silage ratio on methane production in batch anaerobic co-digestion of concentrated pig manure and grass silage, *Bioresource Technology*, Volume 102, Issue 10, May (2011), Pages 5728-5733.

Zarkadas, I. S., Pilidis G.A. Anaerobic co-digestion of table olive debittering and washing effluent, cattle manure and pig manure in batch and high volume laboratory anaerobic digesters: effect of temperature. *Bioresour. Technol.*, 102 (2011), pp. 4995–5003

ZHANG, T.; MAO, C.; ZHAI, N.; WANG, X.; YANG, G.. Influence of initial pH on thermophilic anaerobic co-digestion of swine manure and maize stalk. **Waste Management**, v. 35, (2015.) January, pp 119–126.