

## GERAÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE EFLUENTES DE ABATEDOUROS

Michael Feroldi<sup>1</sup>, Mateus Barbian Urrio<sup>1</sup>, Amanda Viana de Araújo<sup>1</sup> e Paulo André Cremonez<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Paraná – UFPR, Setor Palotina. Rua Pioneiro, nº 2153, Jardim Dallas, Palotina, PR. CEP: 85.950-000. E-mail: michaelferoldi@gmail.com, mateusurrio@gmail.com, ntmamanda@gmail.com

<sup>2</sup>Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, Curso de Pós Graduação Stricto Sensu em Energia na Agricultura. Rua Universitária, nº 2069, Bairro Universitário, Cascavel, PR. CEP: 85.819-110. E-mail: pa.cremonez@gmail.com

*RESUMO:* Devido às grandes flutuações no valor do petróleo, alta demanda por energia e constante preocupação com o aquecimento global e com os impactos ao meio ambiente, diversas alternativas são estudadas visando a obtenção de fontes alternativas de energia, tendo a biodigestão anaeróbia em destaque como uma destas. Essa alternativa tem sido alvo do emprego de uma gama de resíduos como resíduos agropecuários e provenientes de abatedouros de aves, suínos, peixes e bovinos. Com base nos dados apresentados, a biodigestão anaeróbia se mostra eficiente no tratamento para resíduos de abatedouros, além de garantir a produção de energia através do biogás, apesar disso, em alguns casos se fazem necessários pré-tratamentos com a finalidade de aumentar a biodisposição das moléculas ao ataque microbiano aumentando assim, a eficiência do processo.

*PALAVRAS-CHAVE:* biocombustíveis, biodigestão anaeróbia, energias renováveis.

### BIOGAS GENERATION OF WASTEWATER FROM SLAUGHTERHOUSES

*ABSTRACT:* Due to the large fluctuations in the value of oil, high demand for energy and constant concern about global warming and the impacts on the environment, several alternatives are studied in order to obtain alternative sources of energy, with the anaerobic digestion highlighted as one of . This alternative has been the target of employing a range of agricultural waste as from slaughterhouses and poultry, pork, fish and cattle waste. Based on the data presented, the anaerobic digestion is efficient for the treatment of slaughterhouse waste, and ensure the production of energy through biogas, nevertheless, in some cases necessary pre-treatments are made with the purpose of increasing the biodisposição molecules to microbial attack thereby increasing the efficiency of the process.

*KEY WORDS:* biofuels, anaerobic biodigestion, renewable energies.

## INTRODUÇÃO

Devido à constante preocupação com o aquecimento global e suas possíveis causas, alternativas são estudadas para reduzir as emissões de gases-estufa, principalmente como substituição parcial ou total de combustíveis fósseis por fontes de energia renováveis.

A produção de energia renovável simultaneamente ao tratamento de efluentes indesejáveis tem sido bastante reportada por pesquisadores de toda parte do mundo, tendo a biodigestão anaeróbia como base (Callaghan et al., 2002; De Baere, 2004).

A grande vantagem da biodigestão anaeróbia consiste na importância do seu produto principal, o metano ( $\text{CH}_4$ ), que pode ser utilizado de forma direta ou indireta, tendo a combustão em caldeiras para geração de calor e a combustão em motores para geração de energia elétrica como exemplos, respectivamente (Gunaseelan, 2009).

O número de empreendimentos de produção de energia a partir de biogás vem crescendo nos últimos anos, alcançando um montante de 23 instalações que juntas fornecem 80,6 MW de potência instalada (ANEEL, 2012), porém sua participação ainda passa quase despercebida (Figura 1).



**Figura 1** - Participação do biogás em empreendimentos de geração de energia no Brasil. Fonte: Aneel (2012).

O biogás é denominado um combustível produzido a partir da decomposição natural de matéria orgânica, partido de micro-organismos em anaerobiose (Siles et al., 2009). Sua composição varia de acordo com a matriz orgânica, e segundo Nogueira (1986) e CETESB (2013), a composição média é retratada na Tabela 1.

**Tabela 1** - Composição média do Biogás em percentual de volume

Composição	Nogueira (1986)	CETESB (2011)
Metano ( $\text{CH}_4$ )	55-75%	50-70%
Dióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ )	25-45%	25-50%
Nitrogênio ( $\text{N}_2$ )	0-3%	0-7%
Hidrogênio ( $\text{H}_2$ )	0-2%	0-1%
Gás Sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ )	0-1%	0-3%

Segundo Chen et al. (2008), o biogás pode ser gerado de diversas fontes orgânicas que possuem composição de fácil biodegradabilidade e acesso aos micro-organismos, tendo maior destaque os resíduos agropecuários. Várias são as composições e rendimentos de produção de biogás a partir das mais variadas matérias-primas (Tabela 2).

Em linhas gerais, a biodigestão anaeróbia tem recebido bastante atenção nos últimos anos, e tem sido alvo do emprego de uma gama de resíduos como: resíduos agropecuários (Yazdani e Gonzalez, 2007; Avcioglu e Türker, 2012; Lijó et al., 2014), resíduos lignocelulósicos (Brown et al., 2012; Ziemiński et al., 2012; Zheng et al., 2014), do processamento de frutas e legumes (Ergüder et al., 2000; Callaghan et al., 2002; Coalla et al., 2009), esgoto doméstico (Costa, 2006; Davidsson et al., 2007; Fountoulakis e Manios, 2010), efluentes da cadeia do biodiesel (Siles et al., 2009; Siles et al., 2010), vinhaça (Kaparaju et al., 2010; Syaichurrozi et al., 2013; Moraes et al., 2014) e abatedouros (Zadinelo et al., 2013; Afazeli et al., 2014; Ahmad et al., 2014), para fins de tratamento e produção de energia.

**Tabela 2** - Rendimento de produção de biogás de dejetos animais

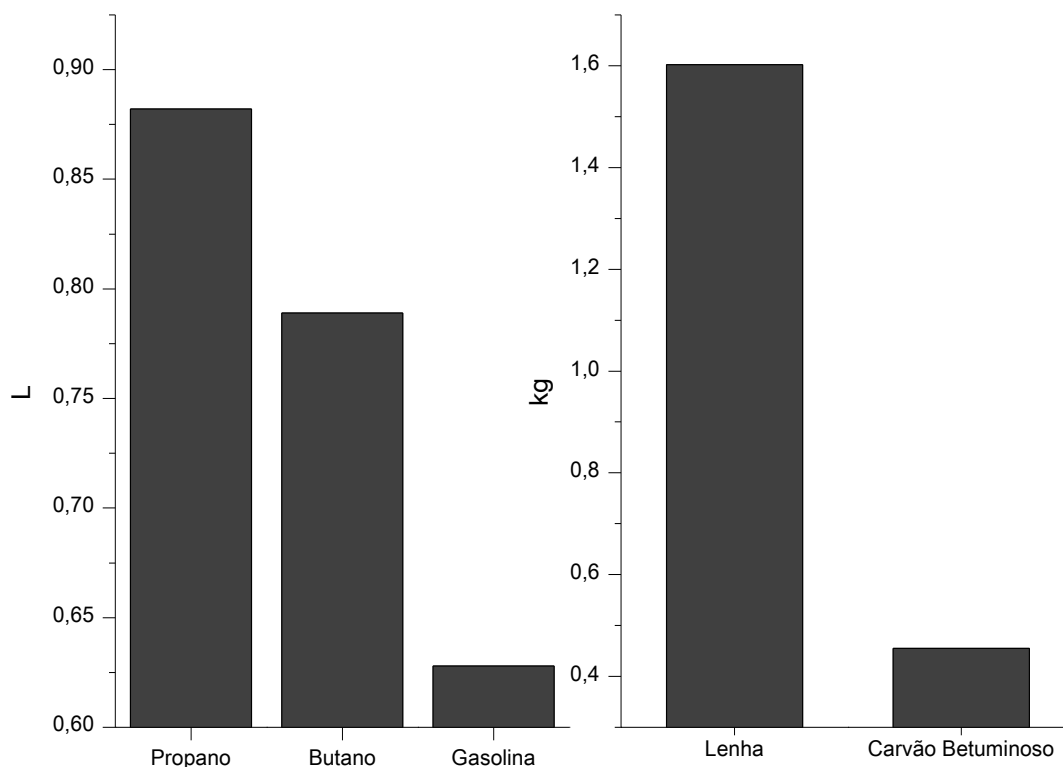
<b>Resíduo</b>	<b>CH<sub>4</sub> (%)</b>	<b>Biogás (m<sup>3</sup>.ton<sup>-1</sup> fresca)</b>
Dejeto de Bovino	60	45
Dejeto de Suíno	60	60
Dejeto de Frango	60	80

Fonte: Al Seadi et al. (2008)

Segundo Bolzonella et al. (2006), a co-digestão de diferentes resíduos é uma prática comum, realizada no intuito de alavancar a performance da biodigestão e produção de biogás. Além disso, em alguns casos o teor de CH<sub>4</sub> pode até aumentar, dependendo da composição geral da mistura (Nielsen et al. 2002).

A composição do biogás influencia diretamente no poder calorífico final do combustível, visto que quanto maior a participação de metano (CH<sub>4</sub>), maior será seu valor energético. Além disso, as presenças de dióxido de carbono em grandes quantidades e de ácido sulfídrico, mesmo que em pequenas proporções, afetam a eficiência térmica e a vida útil das tecnologias que utilizam deste combustível (Costa, 2006).

Em critério de equivalência energética (Figura 2), o biogás pode se apresentar em diversas maneiras, dependendo do poder calorífico, reservado à participação de metano.



**Figura 2** - Equivalência energética de 1 m<sup>3</sup> de biogás a 65% de metano. Fonte: Ross et al. (1996).

Neste sentido, o presente estudo objetiva a exploração do potencial, das características do processo de geração de biogás a partir de resíduos de abatedouros e dos resultados obtidos em literatura.

## BIODIGESTÃO ANAERÓBIA EM ABATEDOUROS

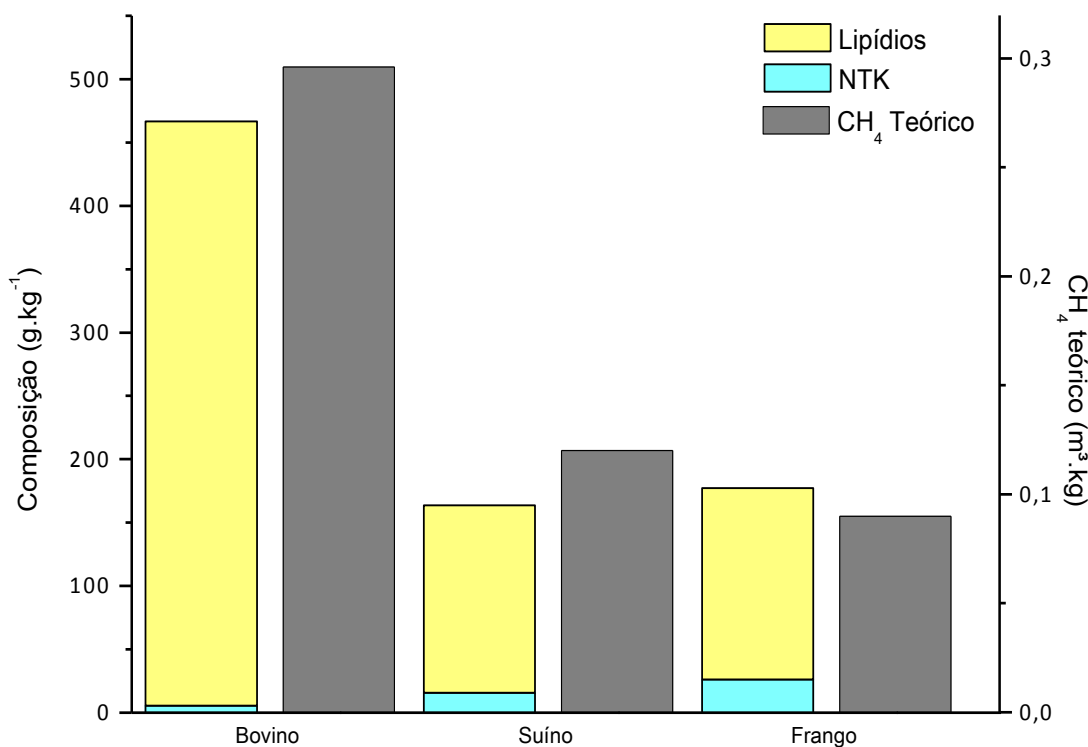
Conforme Massé e Masse (2000), os efluentes de plantas abatedoras de animais possuem características bastante favoráveis à biodigestão anaeróbia, pela sua composição de nutrientes, pelo grau de tamponamento adequado ao crescimento microbiano, além de sair em temperatura relativamente adequada, em torno de 20-30 °C.

A exemplo, em países como Suécia e Dinamarca, é bastante comum a prática de empregar os resíduos de matadouros, como: rúmen, estômago, conteúdo intestinal e sangue, em unidades geradoras de biogás (Edström et al., 2003; Murto et al., 2004).

Resíduos do processamento de carnes e abatedouros podem ser caracterizados como ideais e vantajosos para a produção de biogás, pela alta concentração de matéria orgânica (Bayr et al., 2012a; Bayr et al., 2012b). Porém, altas quantidades de proteínas e lipídios levam

à formação de amônia e ácidos graxos de cadeia longa, causadores de inibição dos microorganismos envolvidos no processo (Cuetos et al., 2008; Hejnfelt e Angelidaki, 2009).

Diferentes rendimentos de biogás e metano ( $\text{CH}_4$ ) são obtidos a partir de diversos resíduos de abatedouros como de: bovinos, suínos e frangos (Figura 3). A alta quantidade de lipídios é observada nos resíduos de carne bovina, podendo apresentar alta taxa de produção teórica de  $\text{CH}_4$ , porém, na prática isso não ocorre devido a presença e geração de AGCL (ácidos graxos de cadeia longa), prejudiciais à comunidade microbiana (Hwu et al., 1996; Pagés-Díaz et al., 2014).



**Figura 3** - Composição em Lipídios e Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK) de resíduos de matadouros e potencial te produção de metano ( $\text{CH}_4$ ). Fonte: Bayr et al. (2012).

Segundo Broughton e colaboradores (1998), altas concentrações de ácidos graxos de cadeia longa podem configurar etapa limitante da biodigestão anaeróbia. Além disso, a inibição da biomassa microbológica presente no meio ocorre no acúmulo destes ácidos graxos de cadeia longa, cujos saturados de cadeia de 18 carbonos são os mais prejudiciais (Nieman, 1954), principalmente aos organismos acidogênicos e metanogênicos (Hwu et al., 1996).

Estudos mostram que a presença de material lipídico bruto em altas concentrações em resíduos empregados na biodigestão é altamente prejudicial pela insolubilidade, baixa

densidade e baixa degradabilidade, esta última relacionada a difícil biodisponibilidade à matéria biológica (Battimelli et al., 2010).

A fim de solucionar tal problema, diversas pesquisas são realizadas para biodisponibilizar a matéria passível de degradação, e assim aumentar a taxa de decomposição, como é o caso do pré-tratamento através da saponificação, o qual consiste na hidrólise dos lipídios transformando-os em sais de ácidos graxos e consequente liberação de glicerol (Mouneimne et al., 2003; Battimelli et al., 2009; Battimelli et al., 2010).

A forte presença de proteínas nos efluentes de matadouros é acompanhada pela degradação em amônia, responsável por altos níveis de inibição de micro-organismos metanogênicos, quando na forma não ionizada ( $\text{NH}_3$ ) pela facilidade de transporte através da membrana celular (Angelidaki e Ahring, 1993; Hansen et al., 1998).

Tal sensibilidade tem sido investigada, pois conforme Siegrist et al. (2005), a concentração de amônia pode chegar a  $15 \text{ g.L}^{-1}$  durante o processo de biodigestão, o que é considerado altamente tóxico para as Archaeas metanogênicas, pois tem sido reportado na literatura que as mesmas suportam uma concentração máxima de  $4 \text{ g.L}^{-1}$  (Schnurer e Nordberg, 2008; Resch et al., 2011).

Segundo Wang e Banks (2002), a maioria das águas residuárias de abatedouros possuem carga orgânica situada na faixa de  $18.000 \text{ mg.L}^{-1}$  e  $43.000 \text{ mg.L}^{-1}$ , porém em muitos casos são observadas DQO elevadas, superando aos  $100.000 \text{ mg.L}^{-1}$  (Ahmad et al., 2014).

A digestão de resíduos de abatedouros pode ser realizada em adição a resíduos com teores menores de lipídios e proteínas, e desta forma, servindo de opção para estabilizar o processo, e até aumentar a produção de metano, podendo alcançar  $0,27\text{-}0,50 \text{ m}^3\text{CH}_4.\text{kg}^{-1}.\text{SV}^{-1}$  (Cuetos et al., 2008; Hejnfelt e Angelidaki, 2009; Luste e Luostarinen, 2010).

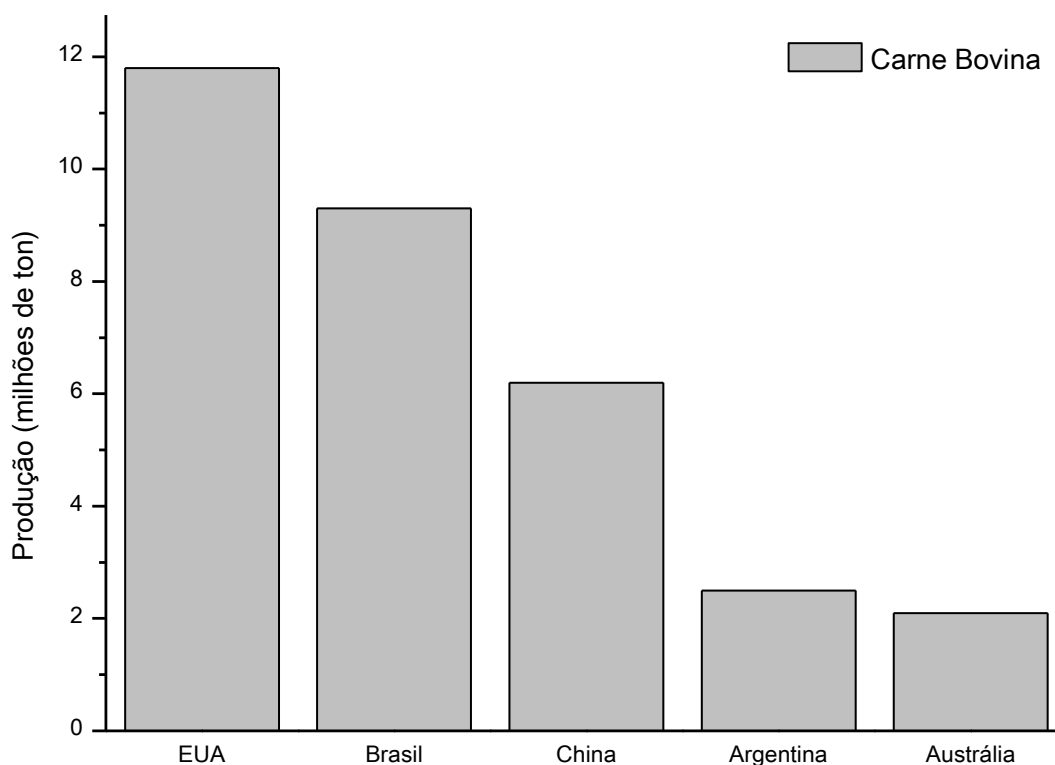
Ainda sobre a importância da co-digestão, Pagés-Díaz et al. (2011) empregando uma proporção de 1:1:1:1 de resíduo ruminal de gado, esterco bovino, resíduo sólido urbano e uma mistura de material com altos teores de lignina, celulose e carboidratos menos complexos (palha, ração animal, frutas e legumes), obtiveram produções 43% superior em metano comparado aos potenciais teóricos de cada resíduo somados, explicado pela atuação sinérgica entre eles.

Estes mesmos autores desenvolveram trabalho semelhante de co-digestão, porém aumentaram a composição em carboidratos simples (frutas e legumes) e diminuíram a participação da palha de 37,5% para 30% em massa, obtendo um aumento também significativo (31%) com relação ao potencial de cada resíduo somado, o que evidencia o efeito sinérgico causado à comunidade microbiana (Pagés-Díaz et al., 2014).

## ABATEDOUROS DE BOVINOS

No abate de bovinos, os animais selecionados são resguardados em currais, nos quais permanecem em repouso durante 24 horas em jejum e dieta hídrica para garantir a qualidade da carne e do abate (Bohrz, 2010). Braile e Cavalcanti (1993) mostram que trata-se de um processo que despende grandes volumes de água, podendo chegar a 2,5 m<sup>3</sup> por cabeça, o que segundo eles não é fácil de contabilizar, além de variar de acordo com as instalações.

O Brasil, segundo maior abatedor de bovinos e produtor de carne, apresentou abate de 8,88 milhões de cabeças de bovinos só no último trimestre de 2013, superando as 40 milhões de cabeças anuais (FAO, 2013; IBGE, 2014). Os maiores processadores de carne bovina estão ilustrados na Figura 4.



**Figura 4** - Produção de carne bovina por países em 2012. Fonte: FAO (2013).

Coalla et al. (2009) trabalhando com co-digestão de resíduos de abatedouro de bovinos, suínos e polpa de maçã, obtiveram produções superiores a 9,5 L.d<sup>-1</sup> de biogás, com um teor de CH<sub>4</sub> variando entre 77 e 80% em reatores experimentais com capacidade de 3 L e alimentação contínua (190mL.d<sup>-1</sup>). Estes autores enfatizam que a escolha da mistura é devido à complementaridade alcançada com relação a matéria-orgânica e proteína principalmente.

Bohrz (2010) obteve produções significativas de metano quando empregando resíduo de abatedouro de bovinos na biodigestão anaeróbia contínua, com valores médios de 0,13 kgCH<sub>4</sub>.kgDQO<sup>-1</sup> degradada, semelhantemente ao trabalho de Altamira et al. (2008).

Battimelli et al. (2010) obtiveram produções de 466 e 675 mL.gSV<sup>-1</sup> de biogás quando empregando a biodigestão de resíduo de carcaça bovina em concentrações de 1 e 2 gO<sub>2</sub>.L<sup>-1</sup> de DQO, apresentando também remoções de 35 e 50% de DQO, respectivamente.

Investigando o potencial de geração de biogás a partir de matadouros de gado no Irã, Afazeli et al. (2014) observaram que o país possui grande possibilidade de produção de energia a partir de seu plantel de gado pesado (considerando bovinos, búfalos e camelos), superando os 21 milhões de m<sup>3</sup> de biogás por ano adotando uma produção média de biogás de 0,3 m<sup>3</sup>.kg<sup>-1</sup>ST, o que é considerado o limite inferior da faixa de produção observada por Avcioğlu e Türker (2012).

Em trabalho correlato, Filho (1981) afirmou que em média ocorria a produção de 0,07 m<sup>3</sup> de biogás por kg de resíduos de abatedouros/frigoríficos de bovinos, produção relativamente baixa e ainda pouco estudada na época.

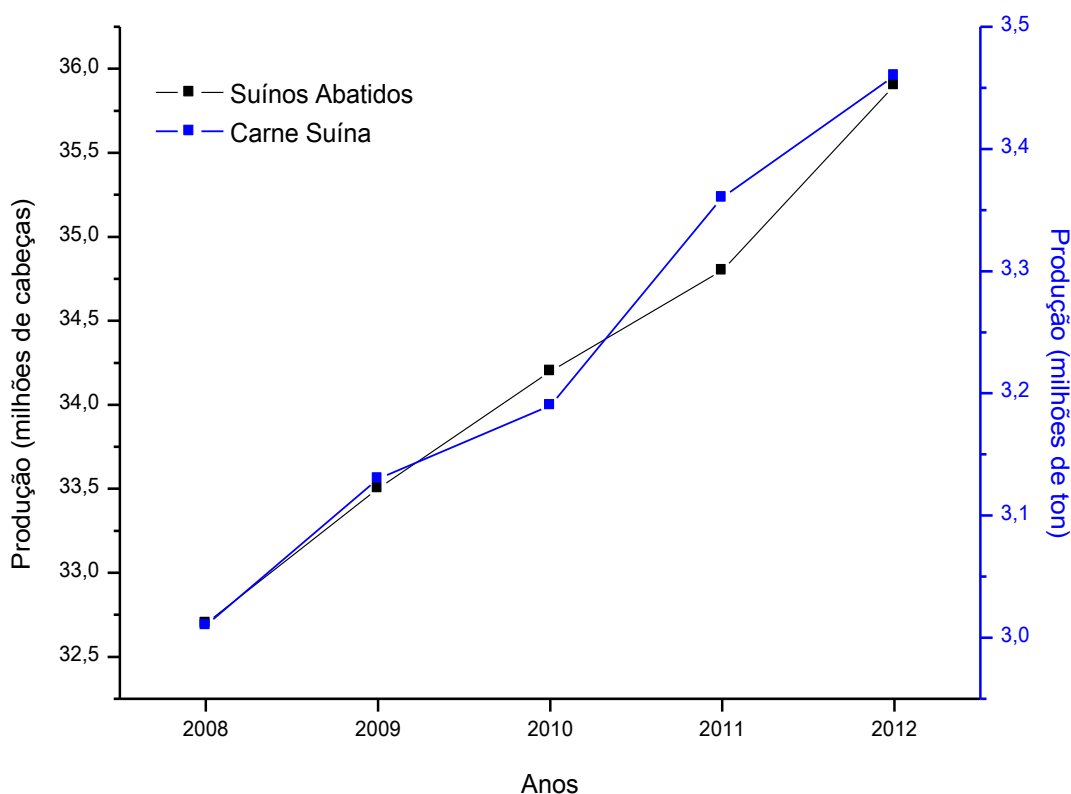
Visto que os resíduos de matadouros possuem alta importância energética, Edström et al. (2003) estudaram o potencial das águas residuárias de abatedouros de bovinos e estimaram que cada animal pode produzir cerca de 1.300 MJ a partir do poder energético do metano contido no biogás.

## ABATEDOUROS DE SUÍNOS

A carne suína é a mais produzida e consumida a nível mundial, e o Brasil destaca-se como quarto colocado no *ranking* de produção e exportação, tendo o Estado de Santa Catarina a maior produção nacional, seguido do Rio Grande do Sul e Paraná, este responsável por 19,4% do total no ano de 2012, e já computadas 558.594 cabeças abatidas de suínos no Paraná somente no mês de Outubro de 2013 (ABIPECS, 2012; Brasil, 2013).

Segundo a FAO (2013) o processamento interno de suínos e consequente produção de carne suína, tem aumentado significativamente desde o ano de 2008 (Figura 5), o que garante enorme potencial em geração de resíduos de abatedouros, podendo ser empregado na biodigestão anaeróbia no intuito de tratamento e produção de energia.





**Figura 5** - Crescimento do abate e produção de carne suína no Brasil.

Segundo Senai (2003), no Brasil, o abate de suínos, processamento e graxaria demanda, em média, de 400 a 3.000 L.cabeça<sup>-1</sup>, porém depende do layout do sistema como o grau tecnológico envolvido, variando entre os abatedouros.

O efluente líquido (direto) do abate de suínos é resultante da lavagem de pocilgas, caminhões, equipamentos, utensílios e piso, principalmente, e possui elevado índice de matéria orgânica, reservado à presença de esterco, sangue, gorduras. Possui também altos teores de sódio, fósforo e nitrato (UNEP, 2000).

Bayr et al. (2012a), estudando o efeito de aditivos à base de Fe, HCl e oligoelementos na digestão anaeróbia de resíduos de matadouro de porcos em condição mesófila, obteve menores acúmulos de ácidos graxos voláteis no reator, favorecendo a metanogênese acetoclástica, como anteriormente observado por Jarvis et al. (1997). Além disso, observou também que o efeito de um aditivo somente à base de Fe e HCl foi positivo na redução do teor de H<sub>2</sub>S, que segundo Ryckebosch et al. (2011), ocorre devido à formação de FeS.

Em trabalho correlato, Karlsson e Ejlertsson (2012) obtiveram maiores produções de metano com a adição de HCl na digestão de efluente de abatedouro, estrume e subprodutos orgânicos, através da diminuição do teor de NH<sub>3</sub> que reduziu o pH a 7,8-7,6 e o teor de cinco AGV.

Segundo Hejnfelt e Angelidaki (2009), a co-digestão de efluente de abatedouro de suínos com estrume de suínos é bastante adequada até um nível de diluição de 5%, apresentando um potencial de produção de biogás de  $0,619 \text{ m}^3.\text{kg}^{-1}$ , muito maior que os  $0,02-0,03 \text{ m}^3.\text{kg}^{-1}$  com apenas estrume.

Segundo Edström et al. (2003), o potencial energético a partir de resíduos de abatedouro de suínos pode alcançar 140 MJ por cabeça.

### ABATEDOUROS DE FRANGOS

O Brasil apresenta grande destaque em criação de frangos para produção de carne. É o atual terceiro maior abatedor (Tabela 3), atrás somente de China e Estados Unidos (FAO, 2013).

**Tabela 3** - Ranking de países abatedores de frangos em 2012

<b>País</b>	<b>Abate (bilhões de cabeças)</b>
China	9,51
Estados Unidos	8,57
Brasil	5,24
Indonésia	2,08
Rússia	2,05

O aumento da produção de carne de frango refletiu na maior geração de resíduos provenientes dos abatedouros, e devido a alta carga poluidora, faz-se necessário que estes passem por tratamentos a fim de garantir a correta disposição (Kozen, 2003; Costa, 2009).

Segundo Dors (2006), este material apresenta DBO elevada, alta concentração de sólidos sedimentáveis e sólidos suspensos, material flotável, presença elevada de lipídios, além de contar com a presença de sólidos grosseiros e dissolvidos.

Assim como os efluentes do beneficiamento de carne suína, o proveniente de abatedouro avícola detém de alta capacidade de produção de biogás, isto porque ele é constituído de alto teor de matéria orgânica (Sunada, 2011). Segundo Salminen e Rintala (2002), ao se trabalhar com a biodigestão de dejetos provenientes de abatedouro de aves, é possível obter de  $0,46$  a  $0,61 \text{ m}^3$  de biogás. $\text{kg}^{-1}$ .

Em seu estudo sobre a biodigestão anaeróbia de efluentes de abatedouro avícola, Oliveira et al. (2011), estudaram a degradação do material em questão em diferentes tempos

de retenção e concentração de enzimas lipolíticas. Neste trabalho o efluente apresentou como características, ST por volta de  $1.500 \text{ mg.L}^{-1}$ ,  $1.290 \text{ mg.L}^{-1}$  de SV, pH de 6,9, coliformes totais de  $2,40 \text{ E}+10 \text{ mg.L}^{-1}$ , coliformes termotolerantes  $7,70 \text{ E}+09 \text{ mg.L}^{-1}$ ,  $86,8 \text{ mg.L}^{-1}$  de N amoniacal,  $3,5 \text{ mg.L}^{-1}$  de P total,  $58,0 \text{ mg.L}^{-1}$  de K e DQO de  $2.490,1 \text{ mg.L}^{-1}$ , garantindo-se como detentor de alto potencial poluidor.

Zadinelo et al. (2013), em seu estudo sobre a produção de biogás a partir de resíduos de abatedouro de frangos, observaram produções de até  $7.129 \text{ m}^3$  de biogás. $\text{dia}^{-1}$ , frente uma DQO inicial de  $2.285,00 \text{ mgO}_2.\text{L}^{-1}$  e óleos e graxas de  $582,00 \text{ mg.L}^{-1}$ . Vale ressaltar que o conteúdo de SV, ou seja, a matéria orgânica biodisponível aos micro-organismos era superior a 60%.

Durante a degradação de efluentes do processamento de carne de frango, pode-se obter 66-75% e 66-70% de metano no biogás, como em estudos realizados por Sunada (2011) e por Oliveira et al. (2011), respectivamente.

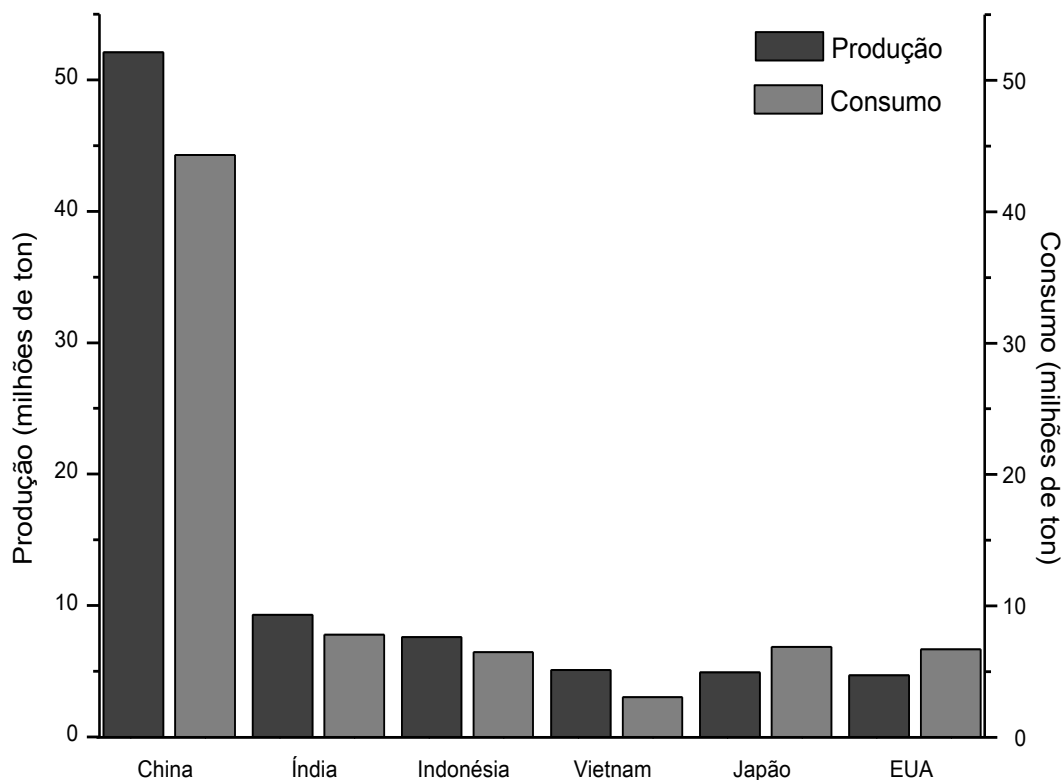
Um resíduo em especial, que apresenta um grande problema de tratamento ou disposição é o caso das penas de frango. Estas possuem altas quantidades de queratina, principalmente na conformação  $\beta$  (Sawyer et al., 2000), o que dificulta ainda mais qualquer processo de biodigestão anaeróbia pela característica das ligações cruzadas. Então, são indispensáveis pré-tratamentos a fim de possibilitar taxas de degradação aneróbia, visto que pode apresentar  $1.200 \text{ mgO}_2.\text{g}^{-1}$  de DQO (Coward-Kelly et al., 2006; Xia et al., 2012).

Xia et al. (2012) obtiveram produções de biogás 183% superiores ao tratamento-testemunha quando empregando penas de frango (23% em ST) em adição ao lodo de abatedouro de bovinos.

Valladão et al. (2007) alcançaram um aumento de aproximadamente 470% em produção de biogás de efluente de abatedouro de frangos quando comparando um pré-tratamento com lipase (0,1% m/v) por 22 horas ao efluente sem pré-tratamento.

## **ABATEDOUROS DE PEIXES**

Embora seja menos comum, a biodigestão anaeróbia também pode ser empregada no tratamento de resíduos de abatedouros de peixes, visando concomitantemente a produção de biogás, visto que a produção mundial de peixes para a alimentação humana ultrapassou as 130 milhões de toneladas, tendo a China como maior produtor e consumidor mundial (Figura 6) (FAO, 2010).



**Figura 6** - Produção e consumo mundial de peixes.

Souza (2010) avaliou a biodigestão anaeróbia de resíduos gerados em três processos de um frigorífico de Tilápia: sangria (SG), filetagem (FL) e processo contínuo (SG + FL) previamente tratados por ultrafiltração. O processo anaeróbio foi realizado em biodigestores de bancada de 10 L de volume útil. Cada biodigestor foi abastecido com 7,5 kg da mistura do substrato, e o inóculo (estrupe bovino diluído em água na proporção 1:5) na proporção de 1:1. O resíduo de FL foi o que mais apresentou concentração de metano no biogás produzido (78,05%), diferentemente dos 69,95 e 70,02% obtidos para SG e PC, respectivamente. As média de produção diária de biogás para os três tratamentos foram de 0,0011, 0,0021 e 0,0033 m<sup>3</sup> para os tratamentos FL, SG e PC, respectivamente.

Valente (2009) visando otimizar o processo de biodigestão de efluentes de abatedouros de peixes, avaliou um pré-tratamento enzimático com a utilização de *Penicillium simplicissimum*. Em seus estudos percebeu que a produção de lipases por este fungo otimizou a produção de biogás, pois torna óleos e gorduras mais disponíveis à biodigestão, que por sinal apresentou eficiências de remoção de DQO de até 90,9%.

Dentro do setor da piscicultura, a biodigestão anaeróbia pode ser aplicada em outros âmbitos que não os matadouros, como na própria cadeia de produção em regimes intensivos utilizando como substrato as fezes, urinas e restos da alimentação dos peixes. Machado e colaboradores (2013) avaliaram a digestão de rejeitos da produção de alevinos de Tilápia Gift

em biodigestores experimentais. Diariamente eram gerados cerca de 45 L de dejetos e restos de ração os quais produziam aproximadamente 917 cm<sup>3</sup> de biogás.dia<sup>-1</sup>.

## CONCLUSÃO

Com base nos dados apresentados, a biodigestão anaeróbia se mostra um eficiente tratamento para resíduos de abatedouros, os quais podem visar concomitantemente a produção de biogás, contudo, em alguns casos se fazem necessários pré-tratamentos principalmente visando a quebra de moléculas complexas como óleos e graxas.

## REFERÊNCIAS

- ABIPECS. Associação Brasileira da Indústria Produtora e Exportadora de Carne Suína. **Principais produtores mundiais de carne suína 2011**. Disponível em: 'http://www.abipecs.org.br/news/486/101/Ranking-Mundial---2011.html. Acesso em: 30 nov. 2013.
- AFAZELI, H.; JAFARI, A.; RAFIEE, S.; NOSRATI, M. An investigation of biogas production potential from livestock and slaughterhouse wastes. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 34, p. 380-386, 2014.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Banco de Informações de Geração (BIG)**. 2012. Disponível em: 'http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/CombustivelPorClasse.cfm?Classe=Biomassa. Acesso em: 20 abr. 2014.
- AHMAD, M. I.; EJAZ, O.; ALI, A.; et al. Anaerobic digestion of waste from a slaughterhouse. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 2, n. 3, p. 1317-1320, 2014.
- AL SEADI, T.; RUTZ, D.; PRASSL, H.; et al. **Biogas Handbook**. Denmark: University of Southern Denmark Esbjerg, 2008. 125p.
- ALTAMIRA, M. L.; BAUN, A.; ANGELIDAKI, I.; SCHMIDT, J. E. Influence of wastewater characteristics on methane potential in food-processing industry wastewaters. **Water Research**, v. 42, p. 2195-2203, 2008.
- ANGELIDAKI, I.; AHRING, B. K. Thermophilic anaerobic digestion of livestockwaste: the effect of ammonia. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 38, p. 560-564, 1993.
- AVCIOĞLU, A. O.; TÜRKER, U. Status and potential of biogas energy from animal wastes in Turkey. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, n. 3, p. 1557-1561, 2012.

BATTIMELLI, A.; CARRÈRE, H.; DELGENÈS, J. P. Saponification of fatty slaughterhouse wastes for enhancing anaerobic biodegradability. **Bioresource Technology**, v. 100, n. 15, p. 3695-3700, 2009.

BATTIMELLI, A.; TORRIJOS, M.; MOLETTA, R.; DELGENÈS, J. P. Slaughterhouse fatty waste saponification to increase biogas yield. **Bioresource Technology**, v. 101, n. 10, p. 3388-3393, 2010.

BAYR, S.; PAKARINEN, O.; KORPPO, A.; LIUKSIA, S.; VÄISÄNEN, A.; et al. Effect of additives on process stability of mesophilic anaerobic monodigestion of pig slaughterhouse waste. **Bioresource Technology**, v. 120, p. 106-113, 2012a.

BAYR, S.; RANTANEN, M.; KAPARAJU, P.; RINTALA, J. Mesophilic and thermophilic anaerobic co-digestion of rendering plant and slaughterhouse wastes. **Bioresource Technology**, v. 104, p. 28-36, 2012b.

BOHRZ, G. I. **Geração de metano em lagoa anaeróbia: um estudo de caso em abatedouro de bovinos**. 2010. 153p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos) – UFSM, Santa Maria, 2010.

BOLZONELLA, D.; PAVAN, P.; BATTISTONI, P.; CECCHI, F. Anaerobic co-digestion of sludge with other organic wastes and phosphorus reclamation in wastewater treatment plants for biological nutrients removal. **Water Science Technology**, v. 53, n. 8, p. 177-186, 2006

BRAILE, P. M.; CAVALCANTI, J. E. W. A. **Manual de tratamento de águas residuárias industriais**. São Paulo: CETESB, 1993. 764p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Consulta de abate por estado/espécie**. Disponível em: [http://sigsif.agricultura.gov.br/sigsif\\_cons/ap\\_abate\\_mensal\\_cons](http://sigsif.agricultura.gov.br/sigsif_cons/ap_abate_mensal_cons). Acesso em: 30 nov. 2013.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Portaria nº 711/1995**. Dispõe sobre as Normas Técnicas de Instalações e Equipamentos para Abate e Industrialização de Suínos. Diário Oficial da União, Brasília, 03 Nov., 1995. Seção 1, p. 17.625.

BROUGHTON, M. J.; THIELE, J. H.; BIRCH, E. J.; COHEN, A. Anaerobic batch digestion of sheep tallow. **Water Research**, v. 32, p. 1423-1428, 1998.

BROWN, D.; SHI, J.; LI, Y. Comparison of solid-state to liquid anaerobic digestion of lignocellulosic feedstocks for biogas production. **Bioresource Technology**, v. 124, p. 379-386, 2012.

CALLAGHAN, F. J.; WASE, D. A. J.; THAYANITHY, K.; FORSTER, C. F. Continuous co-digestion of cattle slurry with fruit and vegetable wastes and chicken manure. **Biomass and Bioenergy**, v. 27, p. 71-77, 2002.

CHEN, Y.; CHENG, J. J.; CREAMER, K. S. Inhibition of anaerobic digestion process: a review. **Bioresource Technology**, v. 99, p. 4044-4064, 2008.

COALLA, L. H.; FERNÁNDEZ, J. M. B.; MORÁN, M. A. M.; BOBO, M. R. L. Biogas generation apple pulp. **Bioresource Technology**, v. 100, p. 3843-3847, 2009.

COSTA, D. F. da. **Geração de energia elétrica a partir do biogás do tratamento de esgoto**. 2006. Dissertação (Mestrado em Energia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

COSTA, L. V. C. **Biodigestão anaeróbia da cama de frango associada ou não ao biofertilizante obtido com dejetos de suínos: produção de biogás e qualidade do biofertilizante**. 2009. 89p. Dissertação (Mestrado em Produção Animal) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2009.

COWARD-KELLY, G.; CHANG, V. S.; AGBOGBO, F. K.; HOLTZAPPLE, M. T. Lime treatment of keratinous materials for the generation of highly digestible animal feed: 1. Chicken feathers. **Bioresource Technology**, v. 97, p. 1337-1343, 2006.

CUETOS, M. J.; GÓMEZ, X.; OTERO, M.; MORÁN, A. Anaerobic digestion of solid slaughterhouse waste (SHW) at laboratory scale: influence of co-digestion with the organic fraction of municipal solid waste (OFMSW). **Biochemical Engineering Journal**, v. 40, n. 1, p. 99-106, 2008.

DAVIDSSON, A.; GRUVBERGER, C.; CHRISTENSEN, T. H.; et al. Methane yield in source-sorted organic fraction of municipal solid waste. **Waste Management**, v. 27, p. 406-414, 2007.

DE BAERE, L. The role of anaerobic digestion in the treatment of MSW: state-of-the-art. **10th World Congress of Anaerobic Digestion, Proceedings**, v. 1, p. 395-400, 2004.

DORS, G.; **Hidrólise enzimática e biodigestão de efluentes da indústria de produtos avícolas**. 2006. 87p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química: Desenvolvimento de Processos Químicos e Biotecnológicos) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

EDSTRÖM, M.; NORDBERG, A.; THYSELIUS, L. Anaerobic treatment of animal byproducts from slaughterhouses at laboratory and pilot scale. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v. 109, p. 127-138, 2003.

ERGÜDER, T. H.; GÜVEN, E.; DEMIRER, G. N. Anaerobic treatment of olive mill wastes in batch reactors. **Process Biochemistry**, v. 36, p. 243-248, 2000.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Fisheries and Aquaculture Department. **Fisheries statistics and information. 2010**. Disponível em: 'ftp://ftp.fao.org/FI/STAT/summary/default.htm. Acesso em: 25 abr. 2014.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **FAOSTAT 2013**. Disponível em: 'http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/home/E. Acesso em: 27 abr. 2014.

FILHO, J. A. C. **Biogás, independência energética do Pantanal Mato-grossense**. Circular Técnica nº 9. Corumbá: EMBRAPA, 1981. 53p.

FOUNTOULAKIS, M. S.; MANIOS, T. Enhanced methane and hydrogen production from municipal solid waste and agro-industrial by-products co-digested with crude glycerol. **Bioresource Technology**, v. 100, p. 3043-3047, 2009.

GUNASEELAN, V. N. Biomass estimates, characteristics, biochemical methane potential, kinetics and energy flow from *Jatropha curcus* on dry lands. **Biomass and Bioenergy**, v. 33, n. 4, p. 589-596, 2009.

HANSEN, K. H.; ANGELIDAKI, I.; AHRING, B. K. Anaerobic digestion of swine manure: inhibition by ammonia. **Water Research**, v. 32, p. 5-12, 1998.

HEJNFELT, A.; ANGELIDAKI, I. Anaerobic digestion of slaughterhouse by-products. **Biomass and Bioenergy**, v. 33, p. 1046-1054, 2009.

HWU, C-. S.; DONLON, B.; LETTINGA, G. Comparative toxicity of long-chain fatty acid to anaerobic sludges from various origins. **Water Science Technology**, v. 34, n. 5-6, p. 351-358, 1996.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas. **Estatística da Produção Pecuária – Março de 2014**. Disponível em: [http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/producaoagropecuaria/abate-leite-couro-ovos\\_201304\\_publicacao\\_completa.pdf](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/producaoagropecuaria/abate-leite-couro-ovos_201304_publicacao_completa.pdf). Acesso em: 17 abr. 2014.

JARVIS, Â.; NORDBERG, Å.; JARLSVIK, T.; MATHISEN, B.; SVENSSON, B. H. Improvement of a grass-clover silage-fed biogas process by the addition of cobalt. **Biomass and Bioenergy**, v. 12, p. 453-460, 1997.

KAPARAJU, P.; SERRANO, M.; ANGELIDAKI, I. Optimization of biogas production from wheat straw stillage in UASB reactor. **Applied Energy**, v. 87, n.12, p. 3779-3783, 2010.

KARLSSON, A.; EJLERTSSON, J. Addition of HCl as a means to improve biogas production from protein-rich food industry waste. **Biochemical Engineering Journal**, v. 61, p. 43-48, 2012.

KOZEN, E. A. Fertilização de lavoura e pastagem com dejetos de suínos e cama de aves. In: V SEMINÁRIO TÉCNICO DE MILHO, 2003, Videira. **Anais**. Videira: EMBRAPA, 16p.

LIJÓ, L.; GONZÁLEZ-GARCÍA, S.; BACENETTI, J.; et al. Assuring the sustainable production of biogas from anaerobic mono-digestion. **Journal of Cleaner Production**, v. 72, p. 23-24, 2014.

LUSTE, S.; LUOSTARINEN, S. Anaerobic co-digestion of meat-processing by-products and sewage sludge—effect of hygienization and organic loading rate. **Bioresource Technology**, v. 101, p. 2657-2664, 2010.



MACHADO, S. T.; JORDAN, R. A.; SANTOS, R. C.; PAOLETTO, A. M. ; REIS, J. G. M.; AVÁLO, H. Geração de biogás com dejetos provenientes da piscicultura. In: 4<sup>o</sup> INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION, 2013, São Paulo. **Anais**. São Paulo: UNIP, 10p.

MASSÉ, D. I.; MASSE, L. Characterization of wastewater from hog slaughterhouse in Eastern Canada and evaluation of their in-plant wastewater treatment systems. **Canadian Agricultural Engineering**, v. 42, p. 139-146, 2000.

MORAES, B. S.; JUNQUEIRA, T. L.; PAVANELLO, L. G. Anaerobic digestion of vinasse from sugarcane biorefineries in Brazil from energy, environmental, and economic perspectives: Profit or expense? **Applied Energy**, v. 113, p. 825-835, 2014.

MOUNEIMNE, A. H.; CARRÈRE, H.; BERNET, N.; et al. Effect of saponification on the anaerobic digestion of solid fatty residues. **Bioresource Technology**, v. 90, n. 1, p. 89-94, 2003.

MURTO, M.; BJÖRNSSON, L.; MATTIASSON, B. Impact of food industrial waste on anaerobic co-digestion of sewage sludge and pig manure. **Journal of Environmental Management**, v. 70, n. 2, p. 101-107, 2004.

NIELSEN, L. H.; HJORT-GREGERSEN, K.; THYGESEN, P.; CHRISTENSEN, J. **Socioeconomic Analysis Centralized Biogas Plants**. Report n°. 136, 2002. Danish Ministry of Food Agriculture and Fisheries.

NIEMAN, C. Influence of trace amounts of fatty acids on the growth of microorganisms. **Bacteriological Reviews**, v. 18, p. 147-163, 1954.

OLIVEIRA, A. B. M.; ORRICO, A. C. A.; ORRICO, M. A. P.; SUNADA, N. S.; CENTURION, S. R. Biodigestão anaeróbia de efluente de abatedouro avícola. **Revista Ceres**, v. 58, n. 6, p. 690-700, 2011.

PAGÉS-DÍAZ, J.; PEREDA-REYES, I.; LUNDIN, M.; HORVÁTH, I. S. Co-digestion of different waste mixtures from agro-industrial activities: kinetic evaluation and synergistic effects. **Bioresource Technology**, v. 102, p. 10834-10840, 2011.

PAGÉS-DÍAZ, J.; PEREDA-REYES, I.; TAHERZADEH, M. J.; et al. Anaerobic co-digestion of solid slaughterhouse wastes with agro-residues: Synergistic and antagonistic interactions determined in batch digestion assays. **Chemical Engineering Journal**, v. 245, p. 89-98, 2014.

ROSS, C. C.; DRAKE, T. J.; WALSH, J. L. **Handbook of biogas utilization**. 2<sup>a</sup> ed. Atlanta: U.S. Department of Energy, 1996.

RYCKEBOSCH, E.; DROUILLON, M.; VERVAEREN, H. Techniques for transformation of biogas to biomethane. **Biomass and Bioenergy**, v. 35, p. 1633-1645, 2011.

SALMINEN, E. A.; RINTALA, J. A. Anaerobic digestion of solid poultry slaughterhouse waste – a review. **Bioresource Technology**, v. 83, p. 13-26, 2002.

SAWYER, R. H.; GLENN, T.; FRENCH, J. O.; et al. The expression of beta ( $\beta$ ) keratins in the epidermal appendages of reptiles and birds. **American Zoologist**, v. 40, p. 530-539, 2000.

SCHNURER, A.; NORDBERG, A. Ammonia, a selective agent for methane production by syntrophic acetate oxidation at mesophilic temperature. **Water Science and Technology**, v. 57, p. 735-740, 2008.

SIEGRIST, H.; HUNZIKER, W.; HOFER, H. Anaerobic digestion of slaughterhouse waste with UF-membrane separation and recycling of permeate after free ammonia stripping. **Water Science and Technology**, v. 52, p. 531-536, 2005.

SILES, J. A.; MARTÍN, M. A.; CHICA, A. F.; MARTÍN, A. Anaerobic digestion of glycerol derived from biodiesel manufacturing. **Bioresource Technology**, v. 100, p. 5609-5615, 2009.

SILES, J. A.; MARTÍN, M. A.; CHICA, A. F.; MARTÍN, A. Anaerobic co-digestion of glycerol and wastewater derived from biodiesel manufacturing. **Bioresource Technology**, v. 101, p. 6315-6321, 2010.

SOUZA, M. A. de. **Eficiência do processo de ultrafiltração seguido de biodigestão anaeróbia no tratamento de efluente de frigorífico de tilápia**. 2010. 76p. Tese (Doutorado em Aquicultura) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2010.

SUNADA, N. S.; **Efluente de abatedouro avícola: processos de biodigestão anaeróbia e compostagem**. 2011. 75p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2011.

SYAICHURROZI, I.; BUDIYONO; SUMARDIONO, S. Predicting kinetic model of biogas production and biodegradability organic materials: Biogas production from vinasse at variation of COD/N ratio. **Bioresource Technology**, v. 149, p. 390-397, 2013.

UNEP - UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME e DANISH ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Cleaner Production Assessment in Meat Processing**. Dinamarca, 2000. 83 p.

VALLADÃO, A. B. G.; FREIRE, D. M. G.; CAMMAROTA, M. C. Enzymatic pre-hydrolysis applied to the anaerobic treatment of effluents from poultry slaughterhouses. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 60, n. 4, p. 219-225, 2007.

VALENTE, A. M. **Aplicação de enzimas hidrolíticas no tratamento biológico anaeróbio de efluente de indústria de pescado**. 2009. 111p. Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

WANG, Z.; BANKS, C. J. Evaluation of a two stage anaerobic digester for the treatment of mixed abattoir wastes. **Process Biochemistry**, v. 38, p. 1267-1273, 2002.

XIA, Y.; MASSÉ, D. I.; McALLISTER, T. A.; et al. Anaerobic digestion of chicken feather with swine manure or slaughterhouse sludge for biogas production. **Waste Management**, v. 32, n. 3, p. 404-409, 2012.

YAZDANI, S. S.; GONZALEZ, R. Anaerobic fermentation of glycerol: a path to economic viability for the biofuels industry. **Current Opinion in Biotechnology**, v. 18, p. 213-219, 2007.

ZADINELO, I. V.; SERENISKI, R. M.; BORIN, R.; et al. Potencial da produção de biogás a partir de efluente pré-tratado de abatedouro de aves da região Oeste do Paraná. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 2, p. 61-71, 2013.

ZHENG, Y.; ZHAO, J.; XU, F.; LI, Y. Pretreatment of lignocellulosic biomass for enhanced biogas production. **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 42, p. 35-53, 2014.

ZIEMIŃSKI, K.; ROMANOWSKA, I.; KOWALSKA, M. Enzymatic pretreatment of lignocellulosic wastes to improve biogas production. **Waste Management**, v. 32, n. 6, p. 1131-1137, 2012.