

**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
CÂMPUS MEDIANEIRA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS AMBIENTAIS  
PPGTAMB**

**CEZAR FONSECA**

**POTENCIAL BIOQUÍMICO DE BIOGÁS DE RESÍDUO DE FILETAGEM  
DE TILÁPIA *Oreochromis nilóticos***

**DISSERTAÇÃO**

**MEDIANEIRA  
2018**

**CEZAR FONSECA**

**POTENCIAL BIOQUÍMICO DE BIOGÁS DE RESÍDUO DE FILETAGEM  
DE TILÁPIA *Oreochromis nilóticos***

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Tecnologias Ambientais, do Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais – PPGTAMB, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Área de Concentração: Tecnologias Ambientais

Orientador: Prof. Dr. Laercio Mantovani Frare

Coorientador: Prof. Dr. Thiago Edwiges

**MEDIANEIRA  
2018**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

F676  
p

Fonseca, Cezar

Potencial bioquímico de biogás de resíduo de filetagem de tilápia oreochromis nilóticos. / Cezar Fonseca – 2018  
54 f. : il. ; 30 cm.

Orientador: Laercio Mantovani Frare

Coorientador: Thiago Edwiges

Dissertação (Mestrado) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais. Medianeira, 2018.

Inclui bibliografias.

1. Resíduos como combustível. 2. Metano. 3. Físico-química. 4. Tecnologias Ambientais - Dissertações. I. Frare, Laercio Mantovani, orient. II. Edwiges, Thiago, coorient. III. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais. IV. Título.

CDD: 600

Biblioteca Câmpus Medianeira  
Marci Lucia Nicodem Fischborn 9/1219



Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Câmpus Medianeira  
Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais



## TERMO DE APROVAÇÃO

### POTENCIAL BIOQUÍMICO DE BIOGÁS DE RESÍDUO DE FILETAGEM DE TILÁPIA *Oreochromis nilóticos*

Por

**CEZAR FONSECA**

Essa dissertação foi apresentada às 14:00 horas, do dia 03 de setembro de dois mil e dezoito, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Tecnologias Ambientais, Linha de Pesquisa Tecnologias de Tratamento e Valorização de Resíduos, no Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho: **Aprovado**.

Prof. Dr. Laercio Mantovani Frare (Orientador – PPGTAMB)

Prof. Dr. Thiago Edwiges (Coorientador – PPGTAMB)

Prof. Dr. Fábio Orssatto (Membro Interno – UTFPR)

Prof. Dr. Adilson Reidel (Membro Externo – IFPR)

**A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Programa**

## Dedicatória

Dedico este trabalho aos meus filhos, minha esposa, meu pai Manoel Fonseca e minha mãe Matilde Rodrigues Fonseca *in memoriam*.

## **Agradecimentos**

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me dado o Dom da vida, e por ter me concedido força para vencer varias batalhas durante esta etapa da minha vida.

À minha família, esposa: Adriana e filhos, Júlio, Aldo e Julia, por terem compreendido e minha ausência da convivência social-familiar durante este período.

Agradeço aos Professores Dr. Laercio Mantovani Frare e Dr. Thiago Edwiges pela brilhante orientação, sem seus conhecimentos e paciência não conseguiria chegar aonde cheguei.

Ao professor Carlos Alberto Mucellin, meu o grande incentivador na universidade, me mostrando que apesar das dificuldades encontradas, nunca devemos desistir.

Aos meus colegas “sobreviventes” da turma de 2016, Karine, Cleidimar, Leandro, Poliana, Daniel, Fernando e Luana, por estarem comigo em todos os momentos de dificuldades das disciplinas.

Ao IFPR por ter concedido o afastamento parcial para cursar a pós-graduação e ter possibilitado o desenvolvimento do experimento no campus Foz do Iguaçu.

Agradeço ao CIBiogás – PTI na pessoa do Mestre Leonardo, por ceder o inóculo, item de fundamental importância para que o trabalho fosse realizado.

Ao colega Felipe Moritz, pela parceria durante a experimentação, bem como a Professora Mestra Fernanda Rúbio pelo coleguismo e ajuda nos trabalhos realizados.

À doutoranda Flávia Potrich e aos alunos de Engenharia de Aquicultura, por terem auxiliado na filetagem e separação dos resíduos.

## Resumo

FONSECA, Cezar. **Potencial bioquímico de biogás de resíduo de filetagem de tilápia *Oreochromis niloticus***. 2018. 54 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2018.

A aquicultura contribui fortemente na produção de proteína de boa qualidade e de baixo teor de gordura. Com a industrialização da tilápia, o filé tem sido o corte mais comercializado. A filetagem promove um aproveitamento de, aproximadamente, 35% do total do peso do peixe vivo, ou seja, por volta de 65% de cada peixe é resíduo no processo industrial. Os resíduos da produção de peixe podem ser divididos em dois grupos: um grupo que tem alto valor comercial (petisco da barriga) e o grupo que congrega partes que não são aproveitados com valor comercial (vísceras, cabeça, carcaça, nadadeiras e pele). Com a presença de matéria orgânica biodegradável, estes resíduos podem ser tratados por meio da digestão anaeróbia que tem o biogás como um dos principais produtos. O presente trabalho teve o objetivo de verificar o potencial bioquímico de biogás de resíduo de tilápia (*Oreochromis niloticus*). O resíduo foi fracionado em 7 partes: escama (ESC), misto (MIX), carcaça (CAR), cabeça (CAB), vísceras (VIS), pele (PEL) e nadadeira (NAD). O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em que cada fração configurou-se um tratamento com 5 repetições. As médias da produção de biogás foram submetida a análise de variância (ANOVA) e o teste de Tukey a nível de confiança de 95%. As frações ESC, MIX, CAR, CAB, VIS, PEL, NAD, tiveram valores de 33,69, 34,28, 26,65, 31,02, 42,71, 32,70 e 30,1 % ST respectivamente. Para SV, PEL e VIS foram obtidos os maiores valores, com 99,1 e 97,4%, seguido por CAR, MIX, CAB, ESC, NAD, com 86,4, 84,4, 83,4, 71,8 e 69,8%, respectivamente. Houve diferença significativa para as médias de produção de biogás ( $p < 0,05$ ). Os maiores volumes de biogás acumulado foram obtidos para as frações CAB, CAR e VIS diferindo estatisticamente das demais, seguido por MIX, NAD, PEL e ESC, com 975, 937, 916, 616, 403, 293  $L_{N\text{biogás}} \text{ kgSV}^{-1}$ . O volume de  $\text{CH}_4$  por kg de massa *in natura* (MI), teve destaque para a fração VIS, como 200  $L_N \text{ CH}_4 \cdot \text{kgMI}^{-1}$  seguido por CAB com 147, MIX com 125, CAR com 119, NAD com 65; PEL com 61 e ESC com 34,22  $L_N \text{ CH}_4 \cdot \text{kgMI}^{-1}$ . Conclui-se que é possível produzir biogás por meio de resíduos de filetagem de tilápia. Contudo é recomendável retirar as escamas, pois esta fração leva um período maior para biodegradação e tem a possibilidade de aumentar os resíduos no interior do biodigestor além de não ter uma contribuição significativa para a produção de biogás.

**Palavras-chave.** Biodigestão. Resíduo de pescado. Metano.

## Abstract

FONSECA, Cezar. **Biochemical potential of biogas from filleting residue of tilapia *Oreochromis niloticus***. 2018. 54 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2018.

Aquaculture heavily contributes to the good quality protein production and low fat. By the industrialization of tilapia, fillet has been the most commercialized cut. Filleting promotes a use about 35% of the total weight of alive fish, ie about 65% of each fish is waste in the industrial process. Fish residues production can be divided into two groups: a group that has a high commercial value (belly tidbit) and the group that collects unused commercially valuable parts (viscera, head, carcass, fins and skin). With the presence of biodegradable organic matter, these residues can be treated by means of anaerobic digestion that has biogas as one of the main products. The present work has had the objective to verify the biochemical biogas potential of tilapia residue (*Oreochromis niloticus*). The residue has been fractionated in 7 parts: scale (ESC), mixed (MIX), carcass (CAR), head (CAB), viscera (VIS), skin (PEL) and fin (NAD). The experimental design has been entirely randomized in that each fraction consisted of a treatment with 5 replicates. Biogas production averages have been submitted to variance analysis (ANOVA) and the Tukey test at 95% confidence level. The ESC, MIX, CAR, CAB, VIS, PEL, NAD fractions have had values of 33.69, 34.28, 26.65, 31.02, 42.71, 32.70 and 30.1% ST, respectively. For SV, PEL and VIS have been obtained the highest values, with 99.1 and 97.4%, followed by CAR, MIX, CAB, ESC, NAD, with 86.4, 84.4, 83.4, 71.8 and 69.8%, respectively. There has been a significant difference for the means of biogas production ( $p < 0.05$ ). The highest volumes of accumulated biogas have been obtained for the CAB, CAR and VIS fractions differing statistically from the others, followed by MIX, NAD, PEL and ESC, with 975, 937, 916, 616, 403, 293 L<sub>N</sub>biogás kgSV<sup>-1</sup>. The CH<sub>4</sub> volume per kg of *in natura* mass (MI) has been in spotlight by VIS fraction as 200 L<sub>N</sub> CH<sub>4</sub> kgMI<sup>-1</sup> followed by CAB at 147, MIX at 125, CAR at 119, NAD at 65; PEL at 61 and ESC at 34.22 L<sub>N</sub>CH<sub>4</sub> · kgMI<sup>-1</sup>. It has been concluded that it is possible to produce biogas by means of tilapia filleting residues. However, it is advisable to remove the scales because this fraction takes a longer period for biodegradation and has the possibility of increasing the residues inside the bio digester besides not having a significant contribution to the production of biogas.

Keywords: Bio digestion. Fish Residues. Methane.



## Lista de Figuras

<b>Figura 1</b> – Produção Mundial da aquicultura, captura de pescado.....	15
<b>Figura 2</b> – Crescimento médio anual da produção de carnes no Brasil no período de 2004 a 2014. ....	17
<b>Figura 3</b> – Carcaça de Tilápia ( <i>Oreochromis niloticus</i> ).....	19
<b>Figura 4</b> – Sequência metabólica na biodigestão anaeróbia .....	23
<b>Figura 5</b> – Exemplo de típicas curvas cumulativas de produção de biogás. ....	24
<b>Figura 6</b> – Produção específica e normalizada do inóculo. ....	35
<b>Figura 7</b> – Produção acumulada e específica normalizada de biogás da celulose microcristalina. ....	36
<b>Figura 8</b> – Produção acumulada de biogás das Frações de resíduo de filetagem de Tilápia. ( <i>Oreochromis niloticus</i> ).....	39
<b>Figura 9</b> – Regressão linear entre a produção específica de biogás e o teor de Lipídios.....	40
<b>Figura 10</b> - Regressão linear entre a produção específica de biogás e o teor de proteína.....	41

## Lista de Tabelas

<b>Tabela 1</b> – Produção de peixes por espécie no Brasil em 2016. ....	18
<b>Tabela 2</b> – Comparação de resíduo de tilápia. ....	19
<b>Tabela 3</b> – Quantidade de frigoríficos classificados por certificação e representação percentual de cada modalidade de certificação para o setor .....	20
<b>Tabela 4</b> – Parâmetros e métodos utilizados para análises do inóculo e substrato..	28
<b>Tabela 5</b> – massa de sólidos voláteis adicionados nos biorreatores .....	29
<b>Tabela 6</b> – Composição do biogás padrão .....	31
<b>Tabela 7</b> – Média dos Sólidos Totais (ST), Sólidos Totais Fixos (SF) e sólidos Totais Voláteis (SV) do inóculo e das frações do resíduo de tilápia in natura.....	32
<b>Tabela 8</b> – Parâmetros de caracterização dos resíduos de tilápia.....	33
<b>Tabela 9</b> – Tabela de acompanhamento da produção de biogás média específica normalizada diária, das frações de resíduo de peixe .....	37
<b>Tabela 10</b> – Tabela de Análise de Variança (ANOVA) das produções médias de biogás, das frações de resíduo de peixe .....	37
<b>Tabela 11</b> – Teste de média para produção de biogás das frações de resíduo de Tilápia.....	38
<b>Tabela 12</b> – Percentual de CH <sub>4</sub> e CO <sub>2</sub> das frações de resíduo de tilápia.....	42
<b>Tabela 13</b> – Produção de CH <sub>4</sub> em LN kgSV-1 e LN kgMI-1 das frações de resíduo de Tilápia.....	43

## Lista de Siglas e Abreviaturas

**ABNT** – Associação Brasileira e Normas Técnicas

**CAB** – Cabeça

**CAR** – Carcaça

**ESC** – Escama

**FAO** – Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação

**IBGE** – Instituto brasileiro de geografia e estatística

**NTK** – Nitrogênio Total

**pH** – Potencial Hidrogeniônico

**SF** – Sólidos Fixos

**ST** – Sólidos Totais

**SV** – Sólidos Voláteis

**VIS** – Vísceras

**V<sub>0</sub>** – Volume de biogás padronizado;

**V** – Volume de biogás medido;

**PL** – Pressão atmosférica no momento da medida (mbar);

**P<sub>w</sub>** – Pressão de vapor d'água (mbar);

**T<sub>0</sub>** – Temperatura normalizada (273,15 K);

**P<sub>0</sub>** – Pressão Normalizada (1,013 mbar);

**T** – Temperatura ambiente (K).

## Sumário

1	INTRODUÇÃO .....	13
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
2.1	PRODUÇÃO E CONSUMO DE PEIXE NO MUNDO .....	15
2.2	PRODUÇÃO E CONSUMO DE PEIXE NO BRASIL.....	16
2.3	CARACTERÍSTICAS DA INDUSTRIALIZAÇÃO DA TILÁPIA.....	18
2.4	TECNOLOGIAS PARA TRATAMENTO DOS RESÍDUOS .....	20
2.5	DIGESTÃO ANAERÓBIA.....	22
3	OBJETIVOS GERAL E ESPECÍFICOS.....	25
3.1	OBJETIVO GERAL .....	25
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	25
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	26
4.1	CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL E COLETA DO RESÍDUO.....	26
4.1.1	Preparação da amostra .....	27
4.2	INÓCULO UTILIZADO NOS ENSAIOS .....	27
4.3	PARÂMETROS E MÉTODOS PARA ANÁLISES DO INÓCULO E DO SUBSTRATO .....	27
4.4	PLANEJAMENTO DOS ENSAIOS .....	28
4.5	ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO DO BIOGÁS .....	30
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	32
5.1	CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO INÓCULO E SUBSTRATO.....	32
5.2	ANÁLISE DA PRODUÇÃO DO BIOGÁS.....	34
5.2.1	Produção de biogás do inóculo.....	34
5.3	AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO DE METANO (CH <sub>4</sub> ).....	42
6	CONCLUSÕES .....	45
	REFERÊNCIAS.....	46
	APÊNDICE .....	53

## 1 INTRODUÇÃO

O acelerado crescimento da população mundial tem como principal consequência a necessidade de aumentar a produção de alimentos na mesma proporção. Os desafios de produção de fontes alimentícias são inúmeros, tendo em vista a dificuldade de expansão das fronteiras agrícolas. A aquicultura contribui fortemente com o objetivo de prover a população com proteína de boa qualidade e de baixo teor de gordura. Em 2014 a produção mundial chegou a 73,8 milhões de toneladas (FAO, 2016).

Esta modalidade da agroindústria visa, além de prover a produção de alimentos, promover um alívio na exploração por meio da pesca extrativista, com o objetivo de recompor os estoques pesqueiros. A industrialização desta cadeia faz-se necessária para agregar valor ao produto bem como atender à demanda do consumidor e disponibilizar o produto pronto para o cliente (SCHULTER; FILHO, 2017).

No processo de industrialização de tilápia o corte mais comercializado, em que a demanda continua em alta, é o filé. Além disso, o peixe apresenta elevado valor nutritivo, constituído por proteínas de alto valor, aminoácidos essenciais e ácidos graxos, especialmente da série ômega-3, os quais são benéficos à saúde (MONTEIRO et al., 2012). A filetagem permite um aproveitamento de cerca de 35% do total do peso do peixe vivo, ou seja, aproximadamente, 65% de cada animal é resíduo no processo industrial.

Com o crescimento das indústrias de processamento da tilápia, no Brasil, observa-se que a quantidade de resíduos gerados por esta atividade é cada vez maior e que em função de descartes incorretos ocasiona vários problemas econômicos, ambientais e sociais (CARVALHO, 2016).

Além do resíduo sólido gerado, uma planta frigorífica emite efluentes com uma carga orgânica elevada, que necessita de um tratamento adequado para posterior liberação no corpo receptor.

Segundo Vidotti e Lopes (2016) os resíduos da produção de peixe podem ser divididos em dois grupos: aquele que congrega partes que não são aproveitados para fabricação de produtos com alto valor comercial (vísceras, cabeça, carcaça e

nadadeiras) e o composto por partes que, quando pré-processadas, melhora o valor agregado, tais como hidrolisados protéicos, hambúrgueres, empanados e formatados. A partir da pele, por sua vez, pode ser extraído o colágeno, ou também para fabricação de couro após um processo de curtimento (FOGAÇA et al., 2015; VIDOTTI; LOPES, 2016 ).

Devido à presença de matéria orgânica biodegradável os resíduos de filetagem de tilápia podem ser tratados por meio da digestão anaeróbia que tem o biogás como um dos principais produtos. O potencial de produção de biogás, em função do volume produzido de resíduos de tilápia em um frigorífico, pode ser substancial.

Esta tecnologia de tratamento, aliada com a produção de um biocombustível, pode promover de forma sustentável e econômica o desenvolvimento do empreendimento, pois a energia produzida pode reduzir custos, suprimindo a demanda de energia elétrica utilizada nos equipamentos da planta.

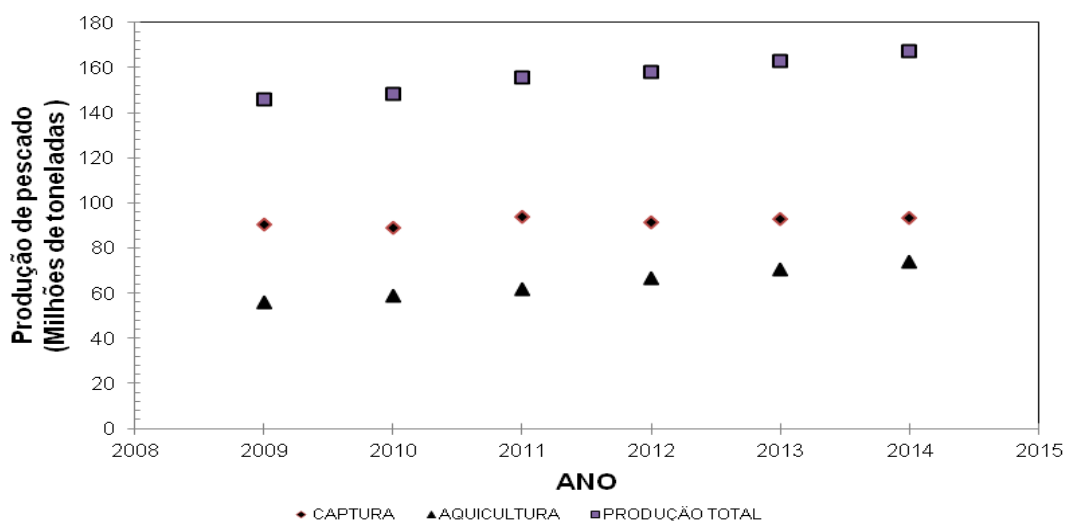
Portanto, está clara a importância de se realizar um estudo sobre o potencial de produção bioquímico de biogás com resíduos de peixes provenientes de frigoríficos.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 PRODUÇÃO E CONSUMO DE PEIXE NO MUNDO

Atividade aquícola é o cultivo de organismos que tem sua vida, ou parte dela, em ambiente aquático (BRASIL, 2009). Dentro do rol dos organismos produzidos destaca-se o cultivo de peixes (piscicultura), quer seja em viveiros escavados, também chamados de “açudes” ou em gaiolas denominados de “tanque-rede”. Estimativas, segundo a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO, 2018), indicam que até 2030 o Brasil produzirá cerca de um milhão de toneladas de pescado, equivalente a 89% referente a 2016, bem como a produção de pescado pela aquicultura ultrapassará a da captura.

Segundo a FAO (2016) a produção mundial do pescado em 2014 foi de 167,2 milhões de toneladas destas, aproximadamente 74 milhões, ou 44% da produção, foi proveniente da aquicultura enquanto que 56%, ou aproximadamente 93 milhões de toneladas, vieram da pesca (Figura 1). Do total de pescado produzido 146,3 milhões de toneladas, foi destinado ao consumo humano.



**Figura 1** – Produção Mundial da aquicultura, captura de pescado.  
**Fonte:** adaptado de FAO (2016).

Em 2013 o pescado representou, perto de, 17% de toda a ingestão de proteína animal e, por volta de, 6,7% do total de proteína do mundo. Os dados revelam que de 1961 a 2013 o crescimento anual de pescado para a alimentação humana cresceu 3,2% em média, quase o dobro do crescimento populacional no mesmo período (FAO, 2016).

A tilápia entre os anos de 2015 e 2017 obteve um crescimento em produção próximo de 6,9%, passando de 5,33 para 5,7 milhões de toneladas e a previsão é que em 2018 sejam produzidos 5,88 milhões de toneladas. Os Estados Unidos da América se tornaram um grande mercado internacional e, no ano de 2016, importou 145 mil toneladas de tilápia da China. Este valor chega a ser 40% da produção total do Brasil (PEIXEBR, 2018).

Segundo a FAO (2016), o consumo *per capita* de pescado mundial médio evoluiu de 9,9 kg em 1960 para 19,7 kg e chegou á 20 kg em 2014 e 2015. Para os países em desenvolvimento os dados mostram uma evolução acentuada do consumo *per capita*, passando de 5,5 kg em 1961 a 18,8 kg em 2013.

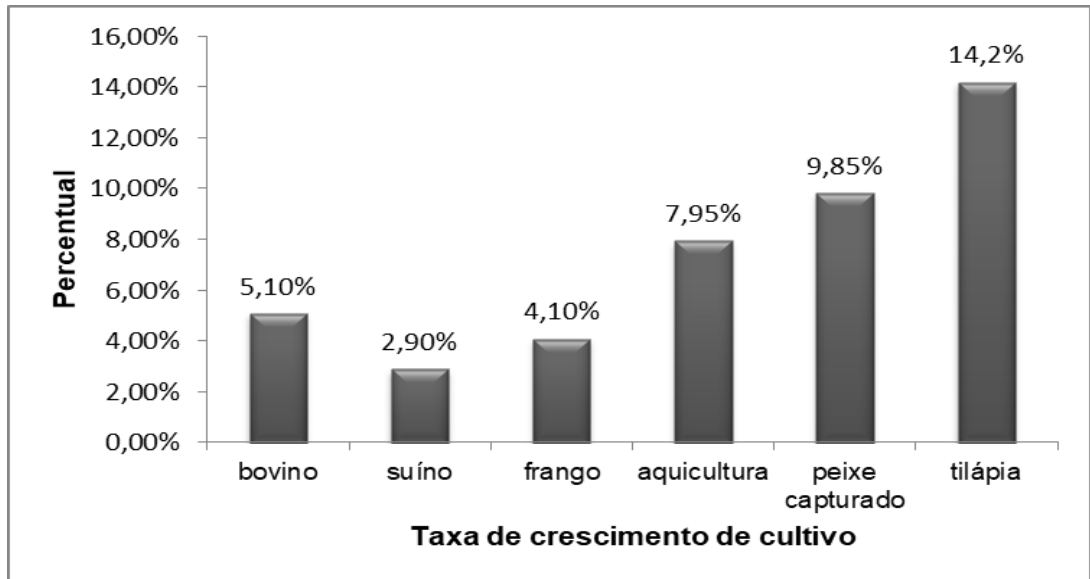
## 2.2 PRODUÇÃO E CONSUMO DE PEIXE NO BRASIL

A aquicultura figura no cenário mundial como um ramo do agronegócio promissor e desponta como o modelo de cultivo animal com a maior taxa de crescimento que ultrapassa o cultivo de bovino, suíno e ave. O crescimento em produção da Tilápia foi em torno de 14% entre 2004 e 2014 como representado na Figura 2 (KUBITZA, 2015).

Segundo o IBGE (2016), a produção da piscicultura no Brasil em 2016, cresceu 4,4% em relação á 2015, e o resultado foi em torno de 507,12 mil toneladas.

Para a PeixeBR (2018), o consumo de pescado estimado no Brasil não ultrapassa 9,5 kg *per capita* ano<sup>-1</sup>. No entanto, na região Norte o consumo chega a 55 kg *per capita* ano<sup>-1</sup>. Com a produção de 357 mil toneladas de tilápia em 2017 o Brasil passou a ser o 4<sup>o</sup> produtor mundial de tilápia, atrás de países como China (1,8.10<sup>6</sup> t), Indonésia (1,1.10<sup>6</sup> t) e Egito com 8.10<sup>5</sup> t, respectivamente.





**Figura 2** – Crescimento médio anual da produção de carnes no Brasil no período de 2004 a 2014.

**Fonte:** Adaptado de Kubitzka (2015).

O mercado nacional exportou, em 2017, 616 t para os EUA, com receita um pouco superior a 4,4 milhões de dólares e, no ano anterior, os EUA importaram 197 239 t de tilápia. O potencial de crescimento é gigantesco, tendo em vista que tem mercado consumidor interno e externo (PEIXEBR, 2018).

Atribui-se esta elevação da produtividade em função da intensificação do cultivo, partindo do cultivo extensivo passando pelo cultivo semi-intensivo e, atualmente, há um grande emprego do sistema super-intensivo (Wing et al., 2018), este último caracterizado pela elevada densidade de animais estocados nos viveiros aliada à tecnologia de aeração constante.

O cultivo de tilápia, com aproximadamente 47,1% da piscicultura brasileira, está presente em 24 dos 27 estados da Federação, figura-se entre as espécies mais cultivadas no Brasil seguido pelo tambaqui 27,0% (IBGE, 2016). Na Tabela 1, apresentam-se os dados de produção de peixe no Brasil.

**Tabela 1** - Produção de peixes por espécie no Brasil em 2016.

Espécie ou grupo de peixes em ordem decrescente de quantidade produzida.	Produção de peixes			
	Quantidade		Valor da produção	
	Total (kg)	Percentual (%)	Total (1.000 R\$)	Percentual (%)
Tilápia	239 090 927	47,1	766 251	40,9
Tambaqui	136 991 478	27	479 349	26,9
Tambacu e Tambatinga	44 948 272	8,9	292 856	10,1
Carpa	20 336 354	4,0	100 731	4,3
Pintado , Cachara, Cachapira, Pintachara e Surubim	15 860 113	3,1	127 019	5,1
Pacu, Patinga	13 065 144	2,6	77 627	3,1
Outros peixes representam		6,6		9,6
<b>Total</b>	<b>507 121 920</b>	<b>100,0</b>	<b>2 020 922</b>	<b>100,0</b>

**Fonte:** Adaptado de IBGE (2016).

### 2.3 CARACTERÍSTICAS DA INDUSTRIALIZAÇÃO DA TILÁPIA

A Tilápia (*Oreochromis niloticus*) é um peixe originário do rio Nilo na África (OLIVEIRA, 2016). Sua rusticidade elevada e fácil adaptabilidade a grandes variações de temperatura facilita o manejo e, por consequência, pode ser cultivada em praticamente todo o Brasil.

A produção de tilápia se concentra principalmente em três regiões: Nordeste, Noroeste Paulista e Oeste Paranaense (SUSSEL, 2011) e destina-se, basicamente, para o consumo interno (KUBITZA, 2005).

Algumas características tais como um filé isento de espinhos (ossos) em “Y”, facilidade de preparo que contribuem para uma boa aceitação da espécie pela população em geral, aumentando a demanda por pescado e, conseqüentemente, a produção.

O beneficiamento da tilápia tem direta relação com o seu consumo, assim a procura por uma alimentação de qualidade e de fácil preparo se torna uma das maiores estratégias de marketing exploradas por indústrias de alimentos (SOUZA, 2002). Neste sentido a industrialização atende às exigências de um novo mercado consumidor seletivo quanto à qualidade e praticidade do produto final (LIMA, 2013).

Com a industrialização da tilápia, o produto principal é o filé e o resíduo gerado é a carcaça do peixe. Na Figura 3 pode-se observar uma carcaça com cabeça, vísceras, nadadeiras e escamas. O percentual destas frações que compõe o resíduo varia entre espécies de peixe, pois depende da estrutura morfológica do animal.



**Figura 3** – Carcaça de Tilápia (*Oreochromis niloticus*)

**Fonte:** Autoria própria

Segundo Souza (2002) um percentual de, aproximadamente, 63% do peixe são de resíduos de filetagem. De acordo com Boscolo e Feinden, (2007), este percentual varia entre 62,5 e 66,5% do peso do peixe vivo.

Souza (2002), com animais pesando em média 362g obteve um rendimento médio de 36,58 % de filé, Leonhardt et al., (2006), encontraram um rendimento de 36,51% para a linhagem tailandesa. Já Chidichima (2014), pesquisando 17 frigoríficos no Oeste do Paraná, encontrou um aproveitamento médio de 34% do peso vivo.

Para a Tilápia os valores morfométricos foram discutidos por vários autores e estão disposto na Tabela 2. Embora a escama faça parte das frações, muitos autores relacionam esta porção do resíduo como rejeito, portanto não qualificam e quantificam como subproduto da filetagem de tilápia.

**Tabela 2** – Comparação de resíduo de tilápia.

Item	Valores (%)	
	Silva et al. (2009)	Souza e Maranhão (2001)
Cabeça	21,56	13,13
Nadadeira	3,94	8,00
Pele	5,95	6,56
Vísceras	12,43	8,69

**Fonte:** Adaptado de Chidichima (2014)

As indústrias de processamento de pescado são divididas em frigoríficos, abatedouros e pequenas agroindústrias dentro da própria piscicultura, como forma de agregar valor ao produto (LIMA, 2013).

A industrialização de peixes se destaca no Oeste do Paraná, devido à elevada produção regional, quer seja em tanques escavados ou produção em tanque-rede. A cadeia a industrialização da tilápia contabiliza ao todo 17 frigoríficos (Tabela 3) que trabalham exclusivamente com peixe no Oeste do Paraná (CHIDICHIMA, 2014).

**Tabela 3** - Quantidade de frigoríficos classificados por certificação e representação percentual de cada modalidade de certificação para o setor

Tipo de Inspeção	Quantidade	(%)
SIF - SISB/POA	5	29,4
SIP/POA	1	5,9
SIM/POA	11	64,7
TOTAL	17	100,00

**Fonte:** adaptado de CHIDICHIMA (2014)

É importante salientar as vantagens e benefícios gerados pelo aproveitamento de resíduos do processamento, evitando-se assim, o acúmulo de material gerador de problemas para o ambiente que é o suporte de todo o cultivo pois os despejos de indústrias de pescado apresentam baixa biodegradabilidade (SONE, 2013).

Desta forma o aumento da produção e do consumo de pescado está diretamente ligado à necessidade de se viabilizar tecnologias para o reaproveitamento dos resíduos gerados pela indústria aquícola (LIMA, 2013).

## 2.4 TECNOLOGIAS PARA TRATAMENTO DOS RESÍDUOS

Resíduos são definidos como restos das atividades humanas, considerados pelos geradores como inúteis, indesejáveis ou descartáveis, podendo apresentar-se no estado sólido, semi-sólido ou líquido, desde que não seja passível de tratamento

convencional (PNRS, 2010). Dentre esses, o resíduo sólido orgânicos é todo aquele de origem animal ou vegetal, ou seja, que recentemente fez parte de um ser vivo, como por exemplo: frutas, hortaliças, restos de pescados, folhas, sementes, cascas de ovo, restos de carne, entre outros (BENTO et al., 2013).

As estratégias para tratar os resíduos são diversas, como compostagem, produção de farinha e óleo de peixe para incremento em rações e a digestão anaeróbia para a produção de biogás (MOREIRA et al., 2014) e o biofertilizante (efluente) (KUNZ et al., 2005; BÓCOLI et al., 2016). Chernicharo (2007) afirma que é possível converter a matéria orgânica complexa (carboidratos, proteínas e lipídios) em formas mais simples (metano, dióxido de carbono, água, sulfeto de hidrogênio e amônia),

Para Kafle et al., (2013), a digestão anaeróbia pode ser uma boa abordagem para a utilização de resíduos de peixes porque, além da produção de um biocombustível, também há um resíduo que pode ser usado como biofertilizante. Além disso, segundo Cirne et al., (2007), os resíduos de peixe são ricos em lipídios e proteínas, tendo a vantagem de prover a produção de metano e pode ser atraente como substratos em processo de digestão anaeróbia.

Apesar das diversas opções de tratamento dos resíduos de processamento do pescado, muitas empresas acabam descartando estes subprodutos de forma pouca vantajosa, que por consequência polui o meio ambiente e perdem a chance de agregar valor aos resíduos (CINTRA, 2014).

Kummer (2011) salienta que um dos principais problemas ambientais, relacionados à atividade de abate de peixe, é a capacidade de afetar significativamente as condições naturais dos corpos hídricos, causando efeitos adversos no rio tais como: proliferação de algas, diminuição da concentração de oxigênio dissolvido, formação de toxinas, odores, morte de peixes e até efeitos nocivos à saúde humana.

Assim, tendo em vista a capacidade poluidora dos resíduos gerados pela indústria de processamento de pescado, faz-se necessário utilizar tecnologias de tratamento para minimizar os impactos deste ramo agroindustrial. A digestão anaeróbia é um dos tratamentos que pode ser utilizado nas indústrias de processamento de pescado.

## 2.5 DIGESTÃO ANAERÓBIA

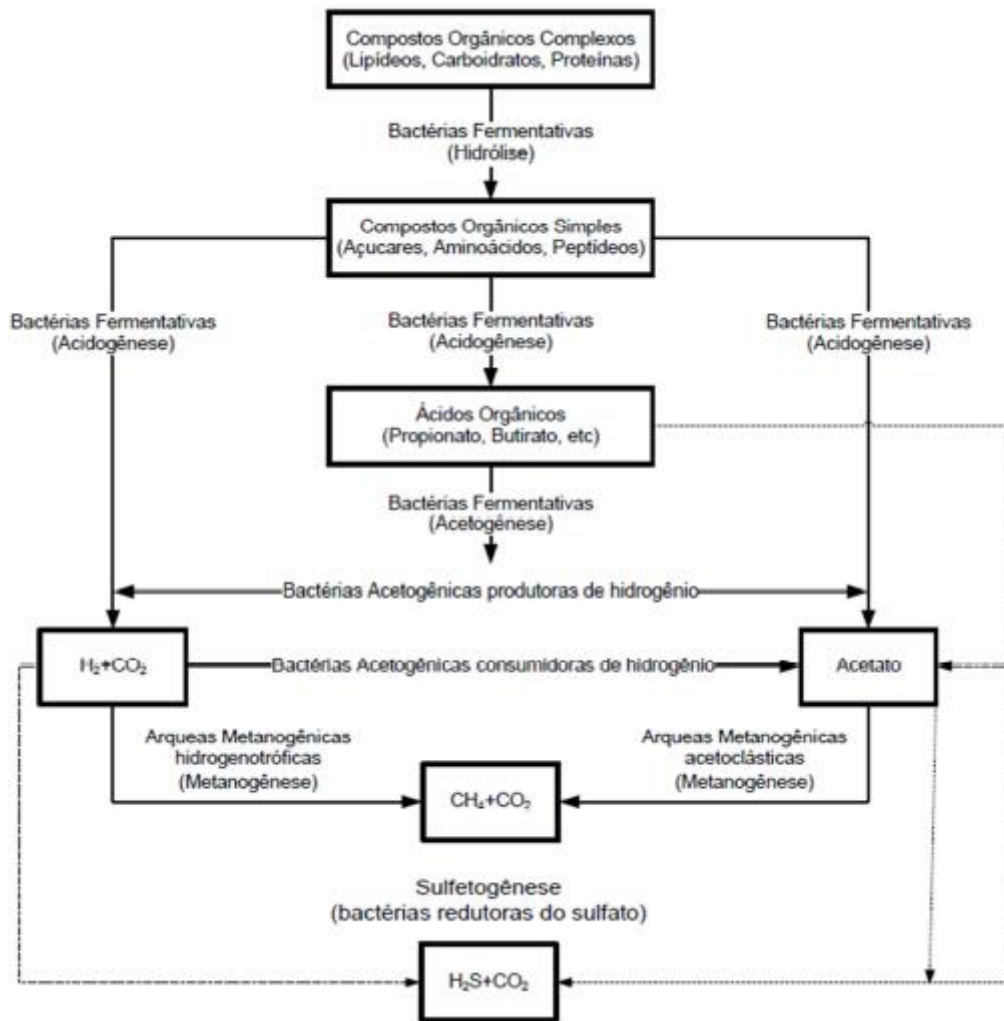
Para Junior e Amorim (2005), tratar os os resíduos orgânicos proporciona a estabilização desses materiais e diminui a propagação de maus odores e, conseqüentemente, a atração de insetos o que possibilita a redução das demandas química e bioquímica de oxigênio e de sólidos, tornando nutrientes disponíveis para as plantas e muitas vezes podendo reduzir os parasitas e patógenos do homem e dos animais.

Diversas são as formas de gerenciamento dos resíduos orgânicos, dentre elas a digestão anaeróbica. O sistema de digestão anaeróbica é um sistema natural que envolve a decomposição bioquímica dos complexos orgânicos por meio dos processos biológicos (CREMONEZ et al., 2013; SOTTI, 2014)

Segundo Priebe (2016) a relação C/N ideal para uma boa digestão anaeróbica é 20-30:1, porém valores superiores a 30:1 podem ocasionar em redução na massa microbiana, pois os microorganismos não conseguem metabolizar o carbono com alto teor de nitrogênio no substrato. Em ambientes com alto valor de nitrogênio e relação C/N baixa pode ocorrer inibição da degradação e por conseqüência a baixa produção de biogás

O processo de digestão anaeróbica é natural em meio anóxico (ausência de oxigênio dissolvido) de decomposição da matéria orgânica. A decomposição ocorre por meio de bactérias específicas e adaptadas ao ambiente e são utilizadas em vários tratamentos contemporâneos de resíduos (AMARAL et al., 2004). A anaerobiose tem como produto o biogás que é o nome dado a uma mistura de gases, que pode ser utilizado como combustível nas mais diversas finalidades desde que corretamente purificado.

Esta decomposição biológica da matéria orgânica compreende quatro fases: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese (Figura 4). A conversão de materiais complexos orgânicos em materiais mais simples, requer uma comunidade bacterianas específicas e que cada grupo de bactérias atua em uma determinada faixa de pH e temperatura.



**Figura 4** – Sequência metabólica na biodigestão anaeróbia  
**Fonte:** Adaptado Chernicharo, 2007.

Segundo Chernicharo (2007) na biodigestão anaeróbia ocorre a produção de inúmeros compostos, tais como  $H_2$  (hidrogênio),  $CO_2$  (dióxido de carbono),  $H_2S$  (sulfeto de hidrogênio),  $O_2$  (oxigênio),  $N_2$  (nitrogênio) e vapor d'água.

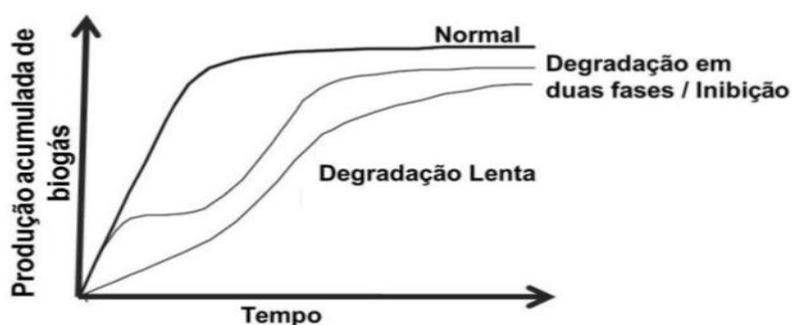
O biogás tem uma composição média de 60 a 80% de metano ( $CH_4$ ) e, em torno de, 20 a 40 % de dióxido de carbono ( $CO_2$ ), de 0,5 a 3,0 % de nitrogênio ( $N_2$ ), com 1 a 3% de hidrogênio ( $H_2$ ) e de 0,02 a 5% de sulfeto de hidrogênio ( $H_2S$ ) (FERNANDES, 2012).

A produção do metano pode ocorrer, basicamente, em três intervalos diferentes de temperatura, de 45 a 60°C, chamado de processo termofílico, mesofílico de 20 a 45 °C e inferior a 20 °C é denominado psicofílico. Em temperaturas inferiores a 7°C há a inibição da ação das bactérias. A maioria dos trabalhos relatam a utilização

da faixa mesofílica, pois a utilização de temperaturas elevadas pode onerar o projeto, além de poder produzir alguns elementos tóxicos e inibir a produção de biogás (MAO et al., 2015).

O tempo de retenção necessário para degradar a matéria orgânica pode demorar de 20 a 50 dias (DIESEL et al., 2002). De acordo com Silva e Abud (2014), um tempo de incubação muito longo pode ser sinal de pouca conversão de matéria orgânica e, conseqüentemente, baixa eficiência do biodigestor.

A norma VDI 4630 (2006) define basicamente 3 tipos de curva de produção acumulada de biogás, a normal, diauxia (degradação em duas fases) e a curva de degradação lenta (Figura 5).



**Figura 5** – Exemplo de típicas curvas cumulativas de produção de biogás.  
**Fonte:** Adaptado (VDI 4630).

Há na literatura alguns trabalhos envolvendo a biomassa de peixe para biodigestão. Mshandete et al., (2004), buscaram melhorar o potencial bioquímico da biomassa com a codigestão de sisal e encontraram o valor de  $390 \text{ LCH}_4 \cdot \text{kgSV}^{-1}$  adicionado, com razão de  $0,05 \text{ gSVresíduo gSVinóculo}^{-1}$ , com tempo de experimento de 29 dias.

Eiroa et al., (2012), estudando resíduos de 4 espécies de peixes diferentes (atum, peixe agulha, sardinha e cavalinha) encontraram valores de produção de  $\text{CH}_4$  semelhantes para atum, peixe agulha e sardinha, ( $260 \text{ LCH}_4 \cdot \text{kgSV}^{-1}$ ) adicionados e  $390 \text{ LCH}_4 \cdot \text{kgSV}^{-1}$ , para cavalinha. Nges et al., (2012), buscaram verificar o potencial de produção de  $\text{CH}_4$  de resíduos de peixe após tratamento com enzimas para extração de proteína e lipídios, obteve valor de  $828 \text{ LCH}_4 \cdot \text{kgSV}^{-1}$ .



### 3 OBJETIVOS GERAL E ESPECÍFICOS

#### 3.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o potencial bioquímico de produção biogás produzido por meio de digestão anaeróbia proveniente do resíduos de filetagem de tilápia *Oreochromis nilóticos*.

#### 3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar a caracterização físico-química das frações do resíduo de filetagem de tilápia;
- Avaliar o desempenho na digestão anaeróbia das frações do resíduo de filetagem de tilápia para a produção de biogás;
- Indicar a(s) melhor(es) fração(ões) a ser(em) utilizada(s) para biodigestão.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL E COLETA DO RESÍDUO

O experimento foi realizado no Instituto Federal do Paraná (IFPR), Campus Foz do Iguaçu, Paraná-Brasil. O campus teve sua sede adquirida em 2010, por ato de doação da ITAIPU Binacional. Dentre os cursos que são ofertados no IFPR campus Foz do Iguaçu, estão os cursos de Técnico em Aquicultura na modalidade integrado e Engenharia de Aquicultura, que detém alguns viveiros de peixes, que são utilizados na manutenção dos cursos em das aulas práticas. O viveiro em que foi efetuado a coleta era, exclusivamente, de tilápia. Os animais coletados tinham peso aproximado de 800g de média.

O resíduo utilizado foi proveniente da sala de abate de pescado do Laboratório de Recursos Naturais do Campus Foz do Iguaçu/PR.

Para despesca, os animais tiveram sua alimentação suspensa por 24 horas antes do procedimento e em depuração por igual período. Este procedimento tem o objetivo de limpar o trato intestinal do animal para atenuar a possibilidade de contaminação do filé.

Após o abate dos animais, procedeu-se a filetagem e separação das frações do resíduo (substrato), bem como o acondicionamento no gelo a, aproximadamente, 4 °C para preservar as características e proceder os ensaios de caracterização. O resíduo gerado foi classificado em: escamas (ESC), vísceras (VIS), pele (PEL), nadadeiras (NAD), cabeça (CAB) e carcaça (CAR). O sangue não foi utilizado para a biodigestão devido a dificuldade de separação e coleta. O procedimento de coleta do substrato seguiu o plano de ação apresentado pela NBR 10.007/2004 – Amostragem de resíduos sólidos ou semissólidos.

#### 4.1.1 Preparação da amostra

Para a preparação do substrato foi coletada uma amostra de, aproximadamente, 7 kg e processada com o auxílio de um moedor de carne convencional (Arbel-MCR 08, 3600 rpm) e, posteriormente, homogeneizado em um cutter (Siemens, volume 4 L) e armazenado em sacos plásticos.

Parte da amostra (substrato) foi utilizada para determinar o potencial hidrogeniônico (pH), os sólidos totais (ST), os sólidos fixos (SF) e os sólidos voláteis (SV), bem como a alcalinidade parcial e total.

#### 4.2 INÓCULO UTILIZADO NOS ENSAIOS

O inóculo utilizado para os ensaios de biodigestão foi cedido pelo Laboratório de Biogás – CIBiogás. A composição deste inóculo é elaborada a partir da proporção de 1:1 em base úmida de efluentes de biodigestores provenientes de dejetos suínos e de dejetos bovinos). Segundo descrito por Edwiges (2017) o inóculo era mantido em reator de aço inoxidável com volume operacional de 100L, agitação contínua de 60 rpm e temperatura controlada em 37 °C.

#### 4.3 PARÂMETROS E MÉTODOS PARA ANÁLISES DO INÓCULO E DO SUBSTRATO

Os métodos que foram utilizados nas análises do substrato e do inóculo utilizados nos ensaios de produção de biogás são apresentados na Tabela 4. Os teores de ST, SF e SV foram analisados, no inóculo e as frações do substrato *in natura*.

**Tabela 4** - Parâmetros e métodos utilizados para análises do inóculo e substrato

Parâmetro	Método
ST	2540 G (APHA, 2005)
SF	2540 G (APHA, 2005)
SV	2540 G (APHA, 2005)
Proteína	Centesimal (FAO, 2002)
Lipídeos	Soxhlet
Carbono orgânico total (COT)	Gravimétrico
Nitrogênio total (NTK)	Micro-Kjeldhal

**Fonte:** Autoria própria

O teor de proteína foi estimado, a partir do método centesimal, com a multiplicação do teor de NTK pelo fator 6,25, considerando teor médio de aproximadamente 16% de nitrogênio na composição de proteínas. Foi estimado o carbono orgânico total (COT) dividindo os valores de sódios voláteis por 1,8 de acordo com a indicação de Kiehl (2010). O teor de lipídeos foi determinado por extração à quente utilizando-se o Soxhlet e éter de petróleo como solvente.

#### 4.4 PLANEJAMENTO DOS ENSAIOS

Os ensaios de produção de biogás foram conduzidos no Laboratório de Microbiologia do campus Foz do Iguaçu do IFPR. Os biorreatores utilizados foram frascos de penicilina, com volume total de 100 mL e um *head-space* de 50 mL, com septo de borracha e lacre de alumínio fechado (lacrado) com o auxílio de um alicate recravador, com boca de 20 mm. Para envase do inóculo e amostras utilizou-se uma razão de 3:1 (g<sub>sv</sub> inóculo: g<sub>sv</sub> resíduo).

O delineamento foi inteiramente casualizado (DIC) e as frações do resíduo utilizadas foram: cabeça (CAB), carcaça (CAR), nadadeira (NAD), vísceras (VIS), pele (PEL), escama (ESC), bem como o resíduo composto de todas as frações denominado de misto (MIX).

Paralelamente, foi incubada uma amostra de celulose microcristalina (CEL) (Synth P.A) como padrão para verificar a eficiência do inóculo. Também houve a incubação somente do inóculo (INO) para posterior correção do volume específico das

amostras. Foram realizados nove (9) tratamentos com cinco (5) repetições cada, totalizando 45 frascos.

Os dados foram submetidos à análise de variância. As diferenças entre as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey, utilizando o pacote estatístico Action Stat.

Com nove dias de incubação, o volume de biogás produzido pela CEL atingiu o mínimo recomendado pela norma VDI 4630 (80% da produção teórica de biogás, 740-750 mL<sub>N</sub> gSV<sup>-1</sup>), comprovando que o inóculo utilizado foi eficiente. As incubações foram realizadas com valores entre 0,385 á 0,394 gSV de substrato e 50 mL de inóculo (Tabela 5).

**Tabela 5** - Massa de sólidos voláteis adicionados nos biorreatores

<b>Amostra</b>	<b>Média de gSV adicionados</b>
NAD	0,385
PEL	0,389
VÍS	0,394
CAB	0,389
CAR	0,389
MIX	0,390
ESC	0,390

**Fonte:** Autoria própria

As massas de substrato e inóculo foram registradas e a produção de biogás do inóculo foi subtraída. Para retirar o ar atmosférico do interior dos reatores, utilizou-se uma seringa de 60 mL, retirando o ar e produzindo um vácuo, todos os frascos ficaram com a mesma pressão no seu interior (-19,0 *mmHg*).

Todo o experimento foi realizado em uma incubadora B.O.D (Deluq, DL 552), com temperatura mesofílica de 37°C ± 0,2.

O volume de gás produzido foi medido com o auxílio de uma seringa de vidro de 100 mL, utilizando para tanto um manômetro digital, o procedimento foi realizado da seguinte forma, que relaciona a pressão interna do reator com a pressão atmosférica: quando o manômetro indicasse zero (0,0) no seu display era indicativo de que a pressão interna estava idêntica a externa e o volume gerado era medido e descartado.

O ensaio foi conduzido até que sua produção diária tivesse um valor igual ou inferior a 1% da produção acumulada, de acordo com a norma VDI 4630 (2006).

O volume do gás foi registrado diariamente durante 10 dias, devido a diminuição do volume de biogás gerado a partir do 11<sup>o</sup> ao 24<sup>o</sup> a cada 2 dias, em seguida do 25<sup>o</sup> ao 41<sup>o</sup>, a cada 3 dias. Em paralelo foi verificado a temperatura ambiente no interior da BOD e a pressão atmosférica para correção do volume nas condições normais de temperatura e pressão (CNTP) de acordo com a equação 1.

$$V_0 = V \cdot \frac{(PL - P_w) \cdot T_0}{P_0 \cdot T} \quad (01)$$

Onde:

$V_0$  = Volume de biogás padronizado (mL<sub>N</sub>);

$V$  = Volume de biogás medido (mL);

$PL$  = Pressão atmosférica no momento da medida (mbar);

$P_w$  = Pressão de vapor d'água (mbar);

$T_0$  = Temperatura de referência (273,15 K);

$P_0$  = Pressão de referência (1,013 mbar);

$T$  = Temperatura ambiente (K) (Temperatura no interior da BOD de 37°C).

Para obter precisão nas medidas, a pressão de vapor d'água foi calculada de acordo com a equação 2, em que a temperatura utilizada foi a temperatura do interior do reator, usando como base a temperatura no interior da BOD.

$$P_w = 10^{8,1962 - \frac{1.730,62}{T - 39.724}} \quad (02)$$

#### 4.5 ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO DO BIOGÁS

A análise da composição de biogás foi realizada por meio de cromatografia gasosa em um cromatógrafo com Detector de Condutividade Térmica (TCD) da marca Perkin Elmer, modelo Clarus 680, sendo identificadas as frações de nitrogênio (N<sub>2</sub>),

oxigênio (O<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e sulfeto de hidrogênio (H<sub>2</sub>S). Foi utilizada uma coluna empacotada Plot Q, utilizando-se Hélio como gás de arraste a uma vazão de 30,0 mL min<sup>-1</sup>.

Inicialmente realizaram-se análises com biogás padrão contendo as concentrações conhecidas dos gases nitrogênio (N<sub>2</sub>), oxigênio (O<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), sulfeto de hidrogênio (H<sub>2</sub>S). A composição do biogás padrão está apresentada na Tabela 6. Todas as análises foram realizadas em duplicatas. Era injetado um volume de 200 µL de biogás em cada análise utilizando-se de uma seringa *gastight* da marca Hamilton, modelo 1750RN SYR (22/2"/2 com capacidade de 500 µL).

**Tabela 6** - Composição do biogás padrão

<b>Elemento</b>	<b>Fração na mistura (mol mol<sup>-1</sup>)</b>
CH <sub>4</sub>	0,65
CO <sub>2</sub>	0,29
H <sub>2</sub> S	0,07
N <sub>2</sub> -O <sub>2</sub>	0,041

**Fonte:** Autoria própria

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO INÓCULO E SUBSTRATO

Na Tabela 7 verificam-se os resultados das determinações de sólidos para os substratos e o inóculo.

**Tabela 7** - Média dos Sólidos Totais (ST), Sólidos Totais Fixos (SF) e sólidos Totais Voláteis (SV) do inóculo e das frações do resíduo de tilápia in natura.

Amostra	ST(%)	SF(%ST)	SV (%ST)
INO	3,9±0,1	39,0±1,2	60,9±0,5
NAD	30,0±0,8	30,1±1,6	69,8±1,6
PEL	32,7±1,4	0,9±0,1	99,0±0,1
VIS	42,7±2,1	2,5±0,3	97,4±0,3
CAB	31,0±1,4	16,5±1,2	83,4±1,2
CAR	26,6±2,0	13,5±5,2	86,4±5,2
MIX	34,2±0,8	15,5±2,1	84,4±2,1
ESC	33,6±0,8	28,20±1,3	71,8±14,5
Média	32,8	15,3	84,6
DP	5,4	12,3	12,3
CV	16,6	80,7	14,6

Legenda: DP (desvio Padrão); CV( coeficiente de variação) INO (inóculo); NAD (nadadeira); PEL (pele); VIS (vísceras);CAB(cabeça); CAR (carcaça); MIX (misto); ESC (escama).

**Fonte:** Autoria própria

Os resultados apresentam o teor de ST com média de 32,8% (deste valor foi suprimido a fração MIX e INO), sendo que a fração VIS apresentou o maior valor, com 42,7% e CAR com o menor 26,7%. Kafle et al., (2013), ao analisarem resíduos de peixe para produção de biogás, encontraram valores de 31,4 a 38,5% para ST, valor aproximado ao encontrado para a fração MIX. Ainda foram reportados por Mshandete et al., (2004) e Nges et al. (2012), 32,2% e 41,2 %, respectivamente. Estes valores são bem similares ao valor encontrado para a fração VIS do presente trabalho.

Em relação aos teores de SV, obteve-se uma média de 84,6% para todas as frações, com a maior fração para PEL de 99,0%, e a menor de 69,8% para NAD. O elevado teor de SV da fração PEL pode indicar uma rápida biodegradação. Soethe (2014) ao analisar vísceras de tilápia para produção de biogás verificou o valor de 91,64% de SV, aproximando-se do valor encontrado no presente trabalho com 97,4%.



No entanto Mshandete et al., (2004) encontraram 55,3% e Nges et al., (2012), obtiveram 35,5% de SV, valor inferior às encontradas em todas as frações do presente trabalho. A diferença registrada para os autores pode ser devido à espécies diferentes do presente trabalho, basicamente quando se tem animais com muitas espinhas (ossos) a concentração de SV tende a ser menor.

Na Tabela 8 são apresentados os valores de Nitrogênio Total (NTK) e Carbono Orgânico Total (COT), que variaram de 3,77 (VIS) à 14,08 (PEL) e 38,79 (NAD) á 54,14 (VIS) respectivamente, com estes valores foi possível calcular a relação C/N.

Verifica-se que a fração PEL possui o maior valor dentre as frações observadas para o parâmetro carbono orgânico total, contudo, a relação C/N foi a menor observada, com o valor de 3,91:1, este valor é muito inferior ao recomendado por Priebe (2016) para um bom desempenho do biodigestor. Dentre as amostras estudadas, a fração VIS teve um valor maior com 14,36:1 na relação, contudo ainda baixo para um o processo de digestão eficiente.

**Tabela 8** - Parâmetros de caracterização dos resíduos de tilápia

Amostra	COT (%ST)	NTK (%)	Relação C/N	Proteína (%ST)	Lipídios (%)
NAD	38,8	8,5	4,58	52,9±4,6	10,80±1,4
PEL	55,0	14,1	3,91	88,0±12,5	2,20±0,1
VIS	54,1	3,8	14,36	23,6±0,6	56,8 ±0,3
CAB	46,4	6,4	7,20	40,2±1,4	33,6±0,5
CAR	48,0	7,3	6,58	45,6±2,1	31,1±0,4
MIX	46,9	6,7	6,95	42,2±4,0	30,1±5,2
ESC	39,9	9,2	4,35	57,3±0,2	0,41±0,1
Média	47,0	8,2	6,83	51,3	22,5
DP	6,8	3,4	3,57	21,5	20,
CV	14,5	41,9	52,3	41,9	97,7

Legenda: DP (desvio Padrão); CV( coeficiente de variação) INO (inóculo); NAD (nadadeira); PEL (pele); VIS (vísceras);CAB(cabeça); CAR (carcaça); MIX (misto); ESC (escama); NTK (Nitrogênio total Kjeldhal) COT (Carbono organico Total); C/N (Carbono Nitrogênio)

**Fonte:** Autoria própria

Os teores de lipídios encontrados variam de 0,41% (ESC) á 56,8% (VIS). Carvalho (2016), extraíndo óleos de resíduo de filetagem de tilápia para a produção de biocombustível, encontrou 16,68%, resultado um pouco diferente do encontrado

pelo presente trabalho que tem como média 22,48% subtraindo a fração MIX do cálculo da média para não influenciar, tendo em vista que a referida fração é composta por todas as demais juntas.

Este valor pode ser influenciado pelo manejo alimentar dos peixes, bem como pelo tamanho médio dos indivíduos. Peixes com maior carcaça e alimentados com ração de grande percentual de energia digestível (ED), que tem uma maior probabilidade de deposição de gordura intramuscular e visceral (MARTINS et al, 2009; LANNA et al., 2004).

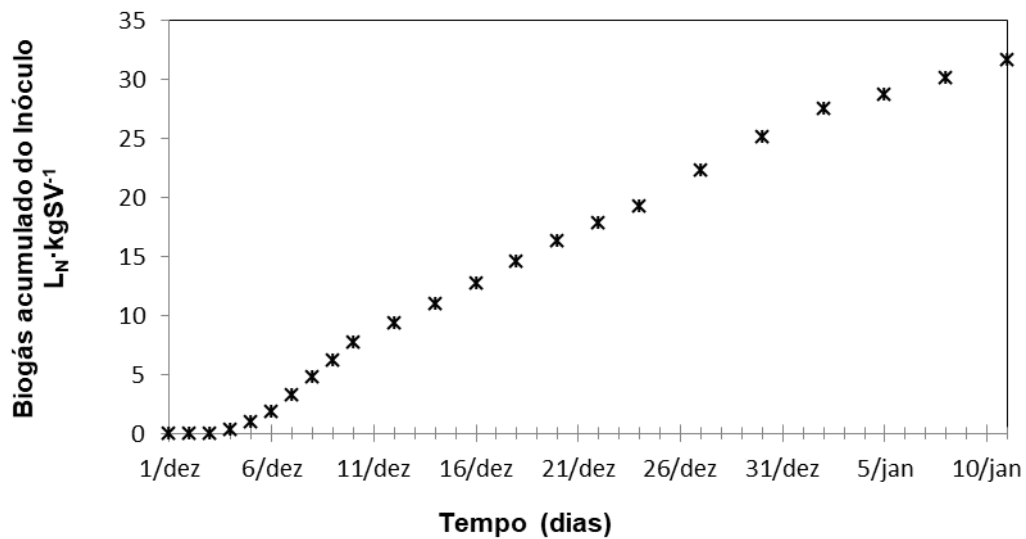
Chernicharo (2007) afirma que a produção de biogás depende dos teores de gorduras e proteína e que, na etapa de hidrólise, os materiais complexos são solubilizados e transformados em materiais mais simples. Segundo Eiroa et al.,(2012), os lipídios de resíduos são fatores que corroboram para a produção de metano.

## 5.2 ANÁLISE DA PRODUÇÃO DO BIOGÁS.

### 5.2.1 Produção de biogás do inóculo.

A baixa produção de biogás do inóculo é esperada, tendo em vista que o inóculo foi proveniente de biorreatores em funcionamento. No entanto é necessário verificar a produção específica do inóculo com o objetivo de deduzir da produção das frações de cada resíduo avaliado. O volume gerado foi, em média, de 31,65 L<sub>N</sub> kgSV<sup>-1</sup>(Figura 6).

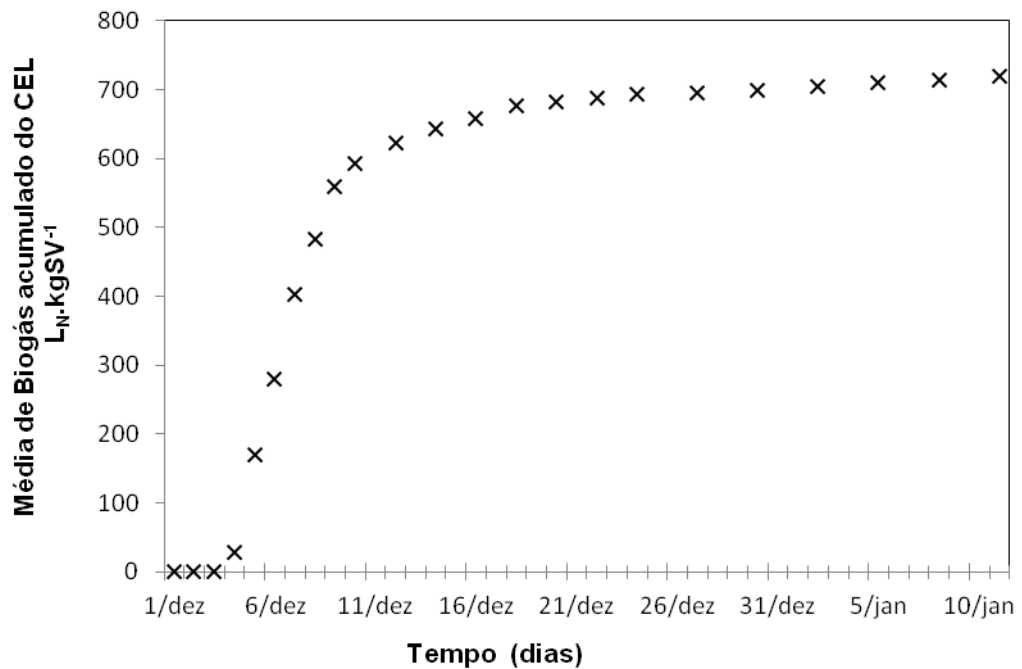
A curva verificada na Figura 6 é classificada pela norma VDI como “atraso na degradação”. Este atraso pode ser explicado pela presença de lignina ou excesso de lipídios no inóculo. Mas como a curva diz respeito ao inóculo, espera-se este comportamento, tendo em vista que já foi retirado de um biodigestor, então teoricamente já biodigerido grande parte da matéria orgânica.



**Figura 6** – Produção específica e normalizada do inóculo.  
**Fonte:** Autoria própria.

A VDI 4630 (2006) apresenta uma maneira de verificar a eficiência do inóculo na biodegradação do substrato. Esta norma considera satisfatório quando 80% da produção teórica de biogás para a celulose microcristalina é atingida (740-750 LN kgSV<sup>-1</sup>). A eficiência do inóculo foi verificada com a incubação da celulose microcristalina durante 41 dias e 26 coletas (Figura 7). O volume de biogás produzido normalizado foi 718,99 LN kgSV<sup>-1</sup> adicionados. Este valor representa 95,86% da produção teórica recomendado pela VDI 4630 (2006).

É possível verificar que no início da biodigestão, especificamente nos primeiros 3 dias, não houve produção de biogás. A partir do 4<sup>o</sup> (quarto) dia, a produção acumulada do biogás aconteceu de forma vertiginosa, isso acontece quando os substratos são de fácil degradação e conversão em biogás.



**Figura 7** – Produção acumulada e específica normalizada de biogás da celulose microcristalina.

**Fonte:** Autoria própria.

As frações NAD, PEL, VIS, CAB, CAR e MIX, tiveram sua maior taxa produção de biogás entre os dias 5 e 7, porém a fração ESC teve seu pico de geração no 12º dia de produção.

Com 41 dias de incubação a fração CAB obteve o maior volume acumulado com 1013 L<sub>N</sub>biogás kgSV<sup>-1</sup> adicionados, seguido por CAR, VIS e MIX com 975, 937 e 916 L<sub>N</sub>biogás kgSV<sup>-1</sup> respectivamente, os menores valores foram encontrados para NAD, PEL e ESC, com 616, 403 e 293 L<sub>N</sub>biogás kgSV<sup>-1</sup> respectivamente, como pode ser verificado na Tabela 9.

Em vários momentos a produção de biogás das frações de resíduo de tilápia foi negativa, isto é possível porque naquele dia de coleta de dados a produção de gás da fração com foi menor do que a produção do inóculo produziu gás, verificar pelos valores negativos demonstrados na tabela que, em alguns momentos não houve produção de biogás pelas frações, somente do inóculo.

**Tabela 9** - Tabela de acompanhamento da produção de biogás média específica normalizada diária, das frações de resíduo de peixe

Volumes de biogás produzido em L <sub>N</sub> kgSV <sup>-1</sup>							
Dia de coleta	NAD	PEL	VÍS	CAB	CAR	ESC	MIX
1/dez	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2/dez	0,00	6,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3/dez	10,96	119,60	65,26	99,59	96,94	0,00	75,02
4/dez	81,94	123,89	111,38	145,38	146,30	-0,41	132,35
5/dez	119,06	67,05	172,01	147,05	209,76	-0,82	196,48
6/dez	110,27	32,51	179,14	108,36	171,61	8,32	199,07
7/dez	86,19	11,25	143,87	108,11	100,00	27,69	114,21
8/dez	48,28	10,37	61,08	67,36	51,96	19,29	52,69
9/dez	41,28	5,66	45,31	58,77	50,10	25,90	42,15
10/dez	26,64	10,46	45,67	39,96	30,04	21,96	20,86
12/dez	26,34	3,46	45,48	52,50	38,42	36,97	25,99
14/dez	18,97	1,59	25,67	44,23	25,17	24,07	15,08
16/dez	10,17	2,59	16,08	35,24	16,37	19,48	13,57
18/dez	8,44	-1,16	7,27	45,93	12,89	15,25	11,44
20/dez	3,38	2,98	3,21	15,51	3,79	9,45	5,54
22/dez	6,07	0,21	4,08	10,04	6,01	13,03	7,30
24/dez	4,75	2,54	3,67	8,30	4,69	11,72	4,65
27/dez	2,15	2,09	-0,74	2,08	1,20	13,39	1,13
30/dez	2,14	0,25	0,15	3,85	1,19	10,97	0,22
02/jan	2,08	-2,06	0,12	5,63	2,04	10,53	-1,61
05/jan	1,02	1,80	0,50	5,48	1,00	9,31	0,98
08/jan	2,88	1,59	3,65	4,65	3,31	9,88	0,57
11/jan	2,91	1,61	3,67	4,68	1,97	7,21	-1,70
Soma	616	403	937	1013	975	293	916
Média	26,78	17,59	40,70	44,03	42,40	12,73	39,8

Fonte: Autoria própria

A análise de variância (ANOVA), apresentada na Tabela 10, indica que há diferença estatisticamente significativa ( $p < 0,05$ ) entre as médias das frações estudadas para a variável produção de biogás.

**Tabela 10** - Tabela de Análise de Variância (ANOVA) das produções médias de biogás, das frações de resíduo de peixe

	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Estat. F	p-valor
Fator	6	2391216,608	398536,1013	130,9901538	3,65384E-19
Resíduos	28	85189,69188	3042,488996		

Fonte: Autoria própria

Diante desta constatação, é necessário verificar qual das frações de resíduo de peixe tem a média de produção de biogás que difere das outras. Na Tabela 11 tem-se os resultados da aplicação do teste de Tukey.

**Tabela 11** - Teste de média para produção de biogás das frações de resíduo de Tilápia

<b>Fração</b>	<b>Médias</b>
CAB	1013 a
CAR	975 ab
VIS	937 ab
MIX	916 b
NAD	616 c
PEL	403 d
ESC	293 d

Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

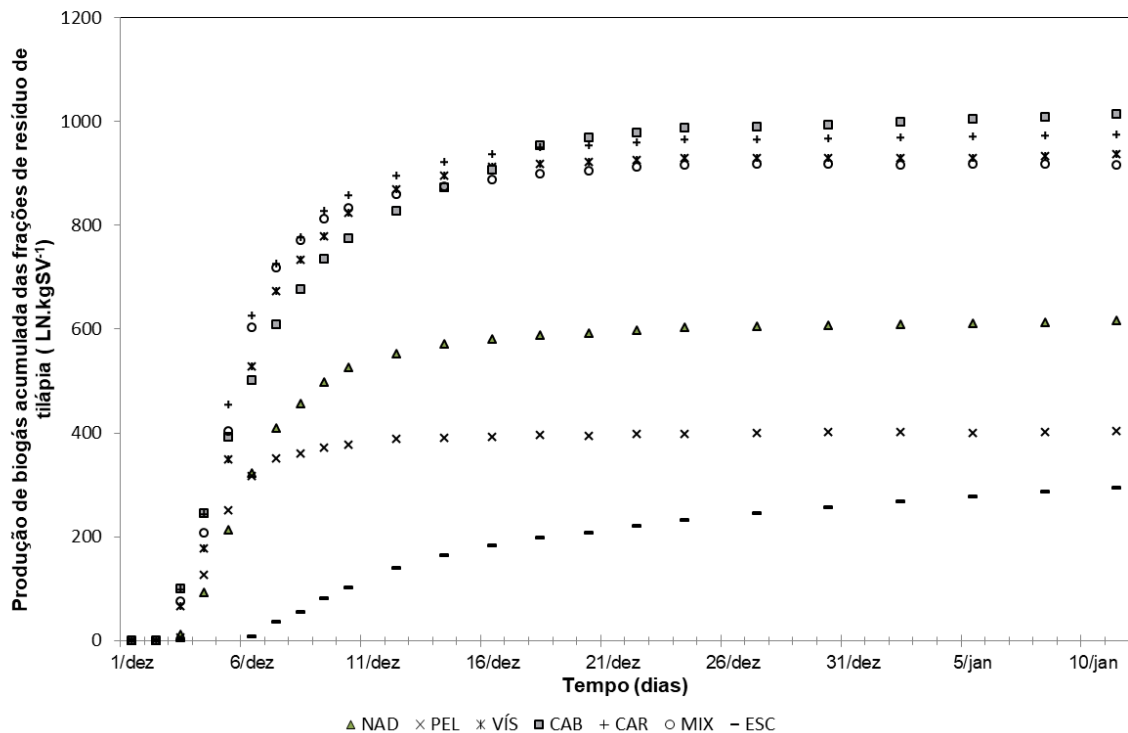
**Fonte:** Autoria própria.

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 11, verifica-se que a fração CAB, não difere estatisticamente de CAR e VIS. A fração ESC teve o menor volume de biogás observado porém não diferiu estatisticamente da fração PEL.

Ao verificar as curvas de produção de biogás das frações (Figura 8), verifica-se que houve um atraso inicial na produção acumulada de biogás e baixa taxa de produção, em geral, até o terceiro (3<sup>o</sup>) dia do início da incubação, com exceção da fração ESC que teve sua produção retardada até o quarto (4<sup>o</sup>) dia.

Embora a celulose microcristalina possua uma alta degradabilidade e ausência de substâncias de difícil degradação, analisando-se a sua curva de produção específica acumulada, tem-se um atraso idêntico às outras frações.

Após a fase inicial de inibição, iniciou a fase de produção acentuada em todas as frações. Em geral houve a estabilização (variação de produção diária igual ou inferior a 1% da produção acumulada) da produção acumulada até o 24<sup>o</sup> dia, porém a fração ESC até o 41<sup>o</sup> dia ainda não havia alcançado a estabilidade da produção, conforme a Figura 8. A norma VDI 4630 (2006), menciona que em geral a taxa maior de degradabilidade ocorre nos primeiros 10 dias de incubação, e segue até o 20<sup>o</sup> dia para alcançar a estabilidade.



**Figura 8** – Produção acumulada de biogás das frações de resíduo de filetagem de Tilápia. (*Oreochromis niloticus*).  
**Fonte:** Autoria própria

A fração ESC, possui em sua composição uma fase inorgânica a hidroxiapatita rica em cálcio (Ca) e uma fase orgânica composta principalmente por colágeno (BIGI et al., 2001). Esta característica confere uma rigidez à fração dificultando sua quebra e, por consequência, sua degradação. Este fator converge para uma inibição da produção de biogás, com uma curva bem característica de baixa degradação evidenciado na VDI 4630.

Também é possível observar que a fração PEL teve uma taxa de degradabilidade similar as demais frações. As características deste tipo de material são favoráveis pois não há, em seu interior, ossos ou material sólido que venham a dificultar a biodegradação. A degradabilidade pôde ser verificada quando da caracterização das frações. O fato da baixa produção de biogás, pode ter relação com o baixo percentual de lipídios e a relação C/N na sua composição, como valores de 2,21% e 3,91:1, respectivamente, bem como o alto valor de proteína 88,01%.

As frações VIS, CAB, CAR e MIX, apresentam curvas muito semelhantes. Porém a fração CAB apresentou a maior produção de biogás com valor de

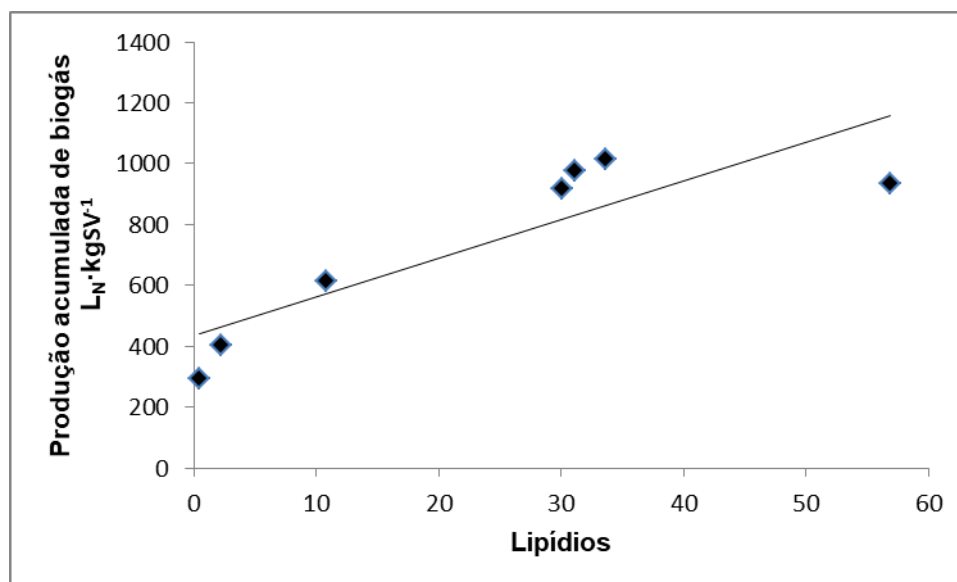
1013  $L_N$   $kgSV^{-1}$  com valores de lipídio, proteína e relação carbono nitrogênio de 33,58%, 40,23% e 7,20:1, respectivamente, no período de 41 dias de incubação.

A dificuldade em promover a quebra da fração ESC e, por consequência, o retardo no início da hidrólise, pode ter sido um fator preponderante na baixa taxa de degradabilidade deste substrato.

A fração NAD não obteve um bom desempenho, quando comparado com CAB, pode-se explicar pela constituição da mesma, tendo em vista que a fração possui em sua composição ossos e pele, o que justifica que apenas 69% de sua massa seca (ST) degrada.

A partir da regressão linear entre a produção específica de biogás e lipídios, demonstra que há uma correlação positiva e que o Coeficiente de Pearson tem seu valor de 0,87 (Figura 9).

Assim, para a evolução da produção de biogás, é possível dizer, com base nos dados analisados, que quando há um acréscimo do percentual de lipídios a produção de biogás aumenta.

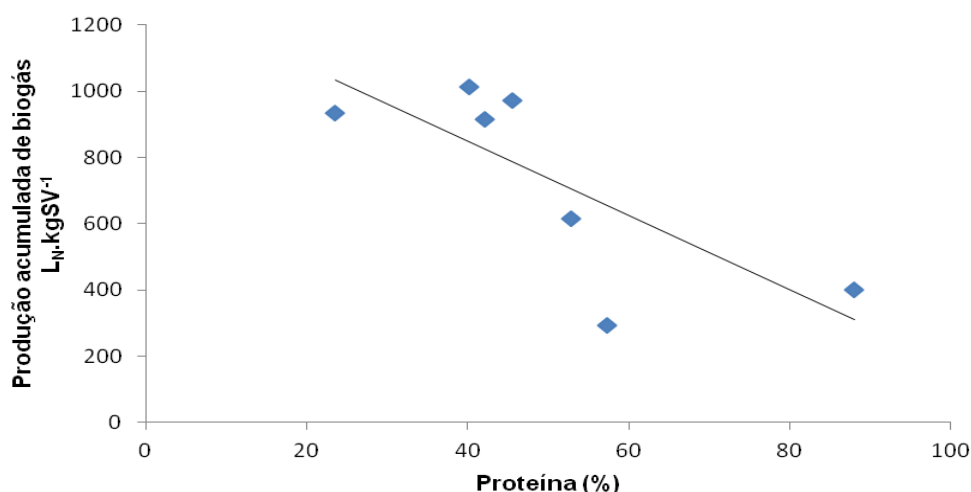


**Figura 9** – Regressão linear entre a produção específica de biogás e o teor de Lipídios  
**Fonte:** Autoria própria



Este resultado corrobora com os mencionados por Erioa et al., (2012), quando compararam a espécie cavalinha (*Scomber scombrus*) com outras três espécies de peixes, em que afirmam que o maior teor de lipídio favoreceu a produção de metano.

Contudo ao comparar a produção de biogás com o percentual de proteína das frações, observa-se uma correlação negativa, em que o coeficiente de Pearson foi de -0,75. Este valor indica que a produção de biogás, para as amostras analisadas, quando há um aumento do percentual de proteína na amostra, a produção de biogás diminui, fato que está retratado na Figura 10.



**Figura 10** - Regressão linear entre a produção específica de biogás e o teor de proteína  
**Fonte:** Autoria própria

Os resíduos de peixe, que são ricos em lipídios e proteínas, têm a vantagem de auferir altos rendimentos de CH<sub>4</sub>, o que pode ser atraente como substrato para digestão anaeróbia. Porém esses tipos de resíduos têm propriedades que os tornam menos adequados para microorganismos anaeróbios, pois podem causar inibição do processo, porque a degradação de proteína produz amônia, que tem um poder inibitório na produção de metano (SCHNURER; NORDBERG, 2008; CIRNE et al., 2007). De acordo com Procházka et al., (2012), as concentrações ótimas de nitrogênio amoniacal para metanogênese, encontradas foram 2,1, 2,6 e 3,1 g L<sup>-1</sup>, mas que a concentração de 4,0 g L<sup>-1</sup> inibiu a produção de metano. Porém a baixa concentração de nitrogênio amoniacal (0,5 g L<sup>-1</sup>) provoca um baixo rendimento do metano, devido a falta deste nutriente para alimentação das bactérias.

### 5.3 AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO DE METANO (CH<sub>4</sub>)

A verificação do percentual de metano (CH<sub>4</sub>) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), produzidos nas diferentes frações, foi realizada ao final da incubação, pois o trabalho não teve como objetivo acompanhar a evolução da produção do CH<sub>4</sub>, desta forma avaliou-se somente ao final do processo e os valores estão apresentados na Tabela 12.

**Tabela 12** - Percentual de CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub> das frações de resíduo de tilápia

Amostra	CH <sub>4</sub> (%)	CO <sub>2</sub> (%)	Outros gases (%)	Total %
NAD	50,3±1,3	23,5±0,6	26,2±1,9	100
PEL	47,1±4,4	23,2±1,6	29,7±6,0	100
VIS	51,3±1,7	23±0,4	25,7±2,1	100
CAB	56,5±0,8	27,3±0,5	16,2±1,3	100
CAR	53,6±2,9	24,9±1,6	21,5±4,5	100
MIX	47,4±2,1	22,8±0,6	29,8±2,7	100
ESC	48,5±4,7	25,6±1,8	25,9±6,5	100

Fonte: Autoria própria

Soethe (2014) encontrou 88,72% de CH<sub>4</sub> operando um biodigestor com 50% de vísceras de tilápia e 50% de dejetos suínos. Souza (2010) analisando resíduos de filetagem de sangria de peixe verificou valores médios de 78,05%.

O maior percentual de CH<sub>4</sub> foi verificado para a fração CAB com 56,5% seguido por CAR, VIS, NAD, ESC, MIX e PEL, com aproximadamente 53, 51, 50, 48, 47 e 47%, respectivamente.

O baixo percentual de CH<sub>4</sub> pode ser explicado pela baixa relação C/N encontrado no resíduo. Souza e Tefera, (2009), afirmam a necessidade da codigestão em tratamentos de resíduos que envolvam alta concentração de sangue/vísceras de animais, gorduras entre outros derivados.

Mshandete et al., (2004), reportaram que o teor de CH<sub>4</sub> do biogás aumentou com o tempo de incubação para 29 dias e atingiu 58% para resíduos de peixe no final da digestão.

O volume específico de CH<sub>4</sub> em cada fração (Tabela 13), possibilita concluir que as frações com maiores volumes específico de CH<sub>4</sub> foram CAB e CAR, com resultados de 572 e 522 L<sub>N</sub>CH<sub>4</sub> kgSV<sup>-1</sup>, representando em termos de massa *in natura* (MI), 147,57 e 119,53 L<sub>N</sub> kgMI<sup>-1</sup>, respectivamente. As duas frações obtiveram o melhor percentual de metano por quilograma de sólidos voláteis em detrimento as demais frações.

As frações VIS e MIX, no entanto, produziram valores de CH<sub>4</sub> bem aproximados com, 481 e 434 L<sub>N</sub>CH<sub>4</sub> kgSV<sup>-1</sup>, respectivamente. Enquanto as frações NAD, PEL e ESC, produziram 310, 190 e 142 L<sub>N</sub>CH<sub>4</sub> kgSV<sup>-1</sup>, respectivamente.

Em termos de massa *in natura* a fração VIS, alcançou o melhor resultado com 200 L<sub>N</sub> kgMI<sup>-1</sup>. Este bom resultado pode ser em função do percentual de lipídios encontrado na fração, corroborando com Eiroa et al., (2012).

**Tabela 13-** Produção de CH<sub>4</sub> em L<sub>N</sub> kgSV<sup>-1</sup> e L<sub>N</sub> kgMI<sup>-1</sup> das frações de resíduo de Tilápia

Amostra	VCH <sub>4</sub> (L <sub>N</sub> kgSV <sup>-1</sup> )	VCH <sub>4</sub> (L <sub>N</sub> kgMI <sup>-1</sup> )
NAD	310	65,1
PEL	190	61,56
VIS	481	200
CAB	572	147,57
CAR	522	119,53
MIX	434	125,42
ESC	142	34,22

Massa *in natura* (MI); Volume de metano (VCH<sub>4</sub>)

**Fonte** : Autoria própria

Mshandete et al., (2004), trabalhando com resíduo de peixe, encontraram 390 L<sub>N</sub>CH<sub>4</sub> kgSV<sup>-1</sup>, valor semelhante com o encontrado na presente pesquisa para a composição MIX. Já Eiroa et al., (2012), biodigerindo resíduos de três espécies distintas de peixe, encontraram valores melhores para o peixe cavalinha com 350 L<sub>N</sub>CH<sub>4</sub> kgSV<sup>-1</sup>. Com atum, sardinha e peixe agulha tiveram 260 L<sub>N</sub>CH<sub>4</sub> kgSV<sup>-1</sup>, na ocasião os autores atribuíram a melhor performance da cavalinha ao teor de lipídios em sua carcaça.

Conforme observado na Figura 9, o aumento do teor de lipídios tem correlação positiva com a produção de biogás, corroborando para o que dizem os autores citados.

Nges et al., (2012) analisando resíduo de salmão encontrou valores de 828  $L_NCH_4$   $kgSV^{-1}$ , com 33 dias de incubação. Estes valores estão acima de todas as frações estudadas no presente trabalho. Contudo o autor considera que na evolução do experimento não houve nenhum componente inibitório, o que não foi o caso da presente pesquisa. A relação C/N para as frações NAD, PEL, e ESC foram as mais baixas (Tabela 8). Esta relação coincidiu com a baixa produção de metano.

## 6 CONCLUSÕES

Os teores de ST tiveram valores semelhantes entre as frações. Para as frações PEL e VIS, os valores para SV foram superiores a 90%, diferenciando das demais. Isto influencia diretamente na capacidade de biodegradação da fração e relaciona-se com a rápida produção de biogás.

Para a produção de biogás houve diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre as médias das frações. As frações CAB, CAR e VIS apresentaram os maiores valores de produção de biogás. Contudo a fração VIS apresentou o maior percentual de metano por quilograma de massa *in natura* adicionada.

A fração ESC demanda um tempo maior de incubação, porém seu volume não diferiu estatisticamente da fração PEL. Diante do estudo apresentado é possível afirmar que o resíduo de filetagem de tilápia tem um potencial bioquímico de produção de biogás satisfatório com percentuais de, aproximadamente, 50% de metano.

Recomenda-se retirar a fração ESC, em função da baixa produção de biogás e CH<sub>4</sub>, bem como a dificuldade em ser degradado pelas bactérias, podendo gerar um acúmulo de material sólido no interior do biodigestor.

Embora as frações cabeça CAB, CAR e VIS terem apresentado os melhores resultados em termos de SV e a fração VIS tenha se sobressaído na produção de metano em termos de MI recomenda-se que, em função do estudo realizado e da dificuldade em segragar as distintas frações em uma escala de produção industrial, utilizar o MIX, retirando a fração ESC previamente.

Recomenda-se para trabalhos futuros a co-digestão com algum resíduo que possa melhorar a relação C:N, com o intuito de verificar a máxima produção de metano, bem como deve-se monitorar a produção de H<sub>2</sub>S durante o processo de biodigestão.

## REFERÊNCIAS

AMARAL, C.M.C. do; AMARAL, L.A. do; LUCAS JUNIOR, J. de; NASCIMENTO, A.A. do; FERREIRA, D. de S; MACHADO, M.R.F. **Biodigestão anaeróbica de dejetos de bovinos leiteiros submetidos a diferentes tempos de retenção hidráulica.** Ciência Rural. V.34,n.6. Santa Maria. 2004.

APHA. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater.** 21<sup>st</sup> ed. Washington: American Water Works Association, 2005.

BÓCOLI, M. E.; MANTOVANI, J. R.; MIRANDA, J. M.; MARQUES, D. J.; SILVA, A. B. Soil chemical properties and maize yield under application of pig slurry biofertilizer. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 20, n. 1, p. 42-48, Jan. 2016.

BENTO A. L., TORRES F. L., LEMES R. R., MAGALHÃES T. A.; **Sistema de gestão Ambiental para Resíduos Sólidos Orgânicos.** Alfena, 2013

BIGI, A; BURGHAMMER, M; FALCONI, R; KOCH, M. J; PANZAVOLTA, S; RIEKEL, C. Twisted plywood pattern of collagen fibrils in teleost scales: an X-ray diffraction investigation. **Journal of Structural Biology**, v. 136, n.2, p. 137-143, 2001.

BOSCOLO, W.R.; FEINDEN, A. **Industrialização de tilápias.** Toledo: GFM. Gráfica & Editora, 2007. 272p.

BRASIL Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento **Manual de Inspeção para Identificação de Espécies de Peixes e Valores Indicativos de Substituições em Produtos da Pesca e Aquicultura** Brasília 2016.

\_\_\_\_\_ **Política Nacional de Desenvolvimento Sustentável da Aquicultura e da Pesca** Lei 11.959 Palácio do Planalto, Julho de 2009.

\_\_\_\_\_ **Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS),** Lei 12.305/2010

\_\_\_\_\_ **Resenha Energética Brasileira,** Ministério de minas e energia 2015

CARVALHO, G C. de. **Utilização do óleo extraído dos resíduos da filetagem de tilápia (*Oreochromis niloticus*) para produção de biodiesel** 2016 74f, .Dissertação (mestrado acadêmico)–Universidade Federal de Lavras, UFLA.

CHERNICHARO, C.A.L. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias: Reatores Anaeróbios**. 2 ed. Belo Horizonte: DESA, UFMG, 2007.

CHIDICHIMA, A.C. **Industrialização de Tilápias: Agregação de Valor para uma Cadeia Emergente da Agricultura Familiar** Dissertação. 89f. (mestrado) UNIOESTE Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Rural Sustentável, 2014.

CINTRA, G. V. Tratamento de resíduos industriais provenientes do processamento de pescados do empreendimento Kipeixe Indústria e Comércio de Pescado Ltda **Revista Especialize On-line IPOG - Goiânia - 7ª Edição nº 007 Vol.01/2014 Julho/2014**.

CIRNE, D.G.; PALOUMET, X.; BJORNSSON, L.; ALVES, M.M.; MATTIASSON, B. 2007 Anaerobic digestion of lipid-rich waste—Effects of lipid concentration. **Renewable Energy**, 32.

CREMONEZ, P. A.; FEIDEN, A<sup>2</sup>, ZENATTI, D. C.; CAMARGO, M. P. de NADALETI, W.C.; ROSS, I E.de; ANTONELLI, J., biodigestão anaeróbia no tratamento de resíduos lignocelulósicos, **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 2, p. 21-35, 2013

DIESEL, R.; MIRANDA, C. R.; PERDOMO, C. Manejo de dejetos de suínos. **Boletim Informativo de Pesquisa: BIPERS 14 - Embrapa Suínos e Aves**. Emater. RS, 2002

EDWIGES, T. **Biodigestão anaeróbia de resíduos vegetais provenientes de central de abastecimento**. 2017. 81f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2017.

EIROA, M.; COSTA, J.C.; ALVES, M.M.; KENNES, C.; VEIGA, M.C. Evaluation of the biomethane potential of solid fish waste. **Waste Management**. 32, 1347–1352, 2012.

FAO, FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Food and Nutrition Paper 77: Food Energy (Methods of Analysis and Conversion Factors)**. FAO: 2002.

FAO, FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS The State of World Fisheries and Aquaculture 2018. **Meeting the sustainable development goals. Rome** FAO 2018.

FAO, FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS The State of World Fisheries and Aquaculture 2016. **Contributing to food security and nutrition for all. Rome.** FAO 2016.

FERNANDES, D. M. **Biomassa e biogás da suinocultura.** Dissertação 209f (Mestrado) Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Energia na Agricultura, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas. 2012.

FOGAÇA, F. ,H., dos S.: OTANI, F., S; PORTELLA, C. de G; FILHO, L.,G.,A. dos S.; SANT'ANA, L.,S. Caracterização de surimi obtido a partir da carne mecanicamente separada de tilápia do Nilo e elaboração de fishburger **Semina: Ciências Agrárias, Londrina**, v. 36, n. 2, p. 765-776, mar./abr. 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA –IBGE. **Produção pecuária municipal.** IBGE: Rio de Janeiro, 2017.

JUNIOR J. L., AMORIM A. C.; **Manejo de dejetos: fundamentos para a integração e agregação de valor.** Anais do ZOOTEC - 24 a 27 de maio de 2005, Campo Grande – MS, 2005.

KAFLE, G. K.; KIM, S. H.; SUNG, K. III. Ensiling of fish industry waste for biogas production: A lab scale evaluation of biochemical methane potential (BMP) and kinetics **Bioresource Technology** 127 (2013).

KIEHL, E. J. **Novos Fertilizantes Orgânicos.** 1ª ed. Piracicaba: Degaspari, 2010.

KUBITZA, F., Tilápia do Brasil. Um frigorífico com a marca do país. **Panorama da Aqüicultura**, v.15, n.91, setembro/outubro 2005.

KUBITZA. F Principais espécies, áreas de cultivo, rações, fatores limitantes e desafios **Panorama da AQUICULTURA**, julho, agosto 2015.

KUMMER, A. C. B.; ANDRADE, L.; GOMES, S. d.; FAZOLO, A.; HASAN, S. D. M.; MACHADO, Fabiano. Tratamento de efluente de abatedouro de tilápia com adição de manipueira na fase anóxica **Eng. Agríc., Jaboticabal**, v.31, n.1, p.150-157, jan./fev. 2011.



KUNZ A., HIGARASHI M. M., OLIVEIRA P. A.;Tecnologias de Manejo e Tratamento de Dejetos de Suínos Estudadas no Brasil. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**. Brasília, 2005.

LANNA, E. A. T; PEZZATO,L. E.; WILSON, M. F.; VICENTINI, C. A.; CECON, P. R; BARROS, M. M., Fibra Bruta e Óleo em Dietas Práticas para Alevinos de Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) **Revista Brasileira de Zootecnia.**, v.33, n.6, p.2177-2185, 2004 (Supl. 3).

LEONHARDT, J. H.; FILHO, M. C.; FROSSARD, H.; MORENO, A. M. Características morfológicas, rendimento e composição do filé de tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus*, da linhagem tailandesa, local e do cruzamento de ambas **Semina: Ciências Agrárias, Londrina**, v. 27, n. 1, p. 125-132, jan./mar. 2006.

LIMA, L. K. F.de. Reaproveitamento de resíduos sólidos na cadeia agroindustrial do pescado. **Embrapa Pesca e Aquicultura**, Palmas 2013.

MAO, C.; FENG, Y.; WANG, X.; REN, G. Review on research achievements of biogas from anaerobic digestion. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 45, p. 540–555, 2015.

MARTINS, T. R: SANTOS, V.B. dos.; PERES, P. V.; SILVA, T. T. Variação da composição química corporal de tilápias (*Oreochromis niloticus*) com o crescimento. **Colloquium Vitae** 2009

MONTEIRO, M. L. G.; MÁRSICO, E. T.; TEIXEIRA, C. E.; MANO, S. B.; JÚNIOR, C. A. C.; VITAL, H. de C. Validade comercial de filés de Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) resfriados embalados em atmosfera modificada e irradiados. **Ciência Rural, Santa Maria**, v.42, n.4, abr, 2012.

MOREIRA T. S., CARVALHO R. F., CASSIANO E. C. O., VAZQUEZ D. C. Z., NOGUEIRA R. G. S., PAUCAR L. C., JUNIOR F. P., RODRIGUES P. H. M.; **Utilização de biodigestores como alternativa para o tratamento de dejetos oriundos da produção animal**. Pirassununga – SP, 2014

MSHANDETE, A., KIVAISI, A., RUBINDAMAYUGI, M., MATTIASSON, B. Anaerobic batch co-digestion of sisal pulp and fish wastes. **Bioresource Technology** 95, 2004. NGES, I. A.; MBATIA, B.; BJÖRNSSON, L. Improved utilization of fish waste by anaerobic digestion following omega-3 fatty acids extraction. **Journal of Environmental Management** 110 (2012).

OLIVEIRA, M. A vez da tilápia: Pesquisas com o peixe mais produzido no país resultam em nova variedade, vacina e pro-bióticos. **Revista pesquisa FAPESP**. Edição 249, novembro 2016

PEIXE BR, **Anuário brasileiro da piscicultura PEIXE BR**. Associação Brasileira da Piscicultura, 2018. São Paulo/SP.

PRIEBE, G. P. da S. **Produção de Biogás Através da Biodegradação Anaeróbica de Resíduos Sólidos da Indústria Coureira** 130f. 2016. Tese (doutorado) Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Departamento de Engenharia Química. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química.

PROCHÁZKA, J.; DOLEJŠ, P.; MÁCA, J.; DOHÁNYOS, M. Stability and inhibition of anaerobic processes caused by insufficiency or excess of ammonia nitrogen **Appl Microbiol Biotechnol**, 2012.

SILVA, C. E. F.; ABUD, A. K. S. Acompanhamento do Tempo de Retenção Hidráulico (TRH) na Biodigestão de Vinhaça e Utilização de seu Biofertilizante em Sementes de Feijão. **Scientia Plena**, v. 10, n. 7, 2014.

SCHULTER, E. P.; FILHO, J. E. R. V. Evolução da piscicultura no Brasil: diagnóstico e desenvolvimento da cadeia produtiva de tilápia. **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada** – ipea2017.

SILVA, F. V.; FRANCO E SARMENTO, N. L.A.; VIEIRA, J. S.; TESSITORE, A. J. A. de; OLIVEIRA, L. L. S. dos; SARAIVA, E. P., Características morfológicas, rendimentos de carcaça, filé, vísceras e resíduos em tilápias-do-nylo em diferentes faixas de peso. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, n.8, p.1407-1412, 2009.

SOETHE, G. C. **Aproveitamento da massa visceral da tilápia (*Oreochromis niloticus*) para produção de biogás**. 73 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Cascavel, PR: UNIOESTE, 2014.

SONE, A. P. **Tecnologia alternativa para tratamento de efluente proveniente de frigorífico de peixe**. 2013, 77f., Dissertação (Mestrado) Universidade Estadual do Oeste do Paraná- Toledo, PR: UNIOESTE.

SOTTI G.; **Biogás de digestão anaeróbica dos resíduos orgânicos de restaurantes universitário com efluente com efluente sanitário**. Londrina – PR, 2014.

SOUZA, F. C.; LUCAS, J. J.; FERREIRA, W.P. M. Biodigestão anaeróbia de dejetos de suínos sob efeito de três temperaturas e dois níveis de agitação do substrato - considerações sobre a partida **Revista Engenharia. Agrícola**. Jaboticabal, v.25, n.2, p.530-539, maio/ago. 2005.

SOUZA, M. A. de **Eficiência do processo de ultrafiltração seguido de biodigestão anaeróbia no tratamento de efluente de frigorífico de tilápia**, 2010. 76 f. Tese (doutorado) Centro de Aquicultura da Universidade Estadual Paulista Jaboticabal, 2010.

SOUZA, M. A. de; CHAGURI, M. P.; CASTELINI, F. R.; JUNIOR, J. L. de; VIDOTTI, R. M, Anaerobic bio-digestion of concentrate obtained in the process of ultra filtration of effluents from tilapia processing unit. **Revista . Brasileira de Zootecnia**, v.41, n.2, p.242-248, 2012.

SOUZA, M. L. R. Comparação de seis métodos de filetagem em relação ao rendimento de filé e de subprodutos do processamento de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 31, n. 3, p. 1076-1084, jun. 2002.

SOUZA, M. L. R. de; MARANHÃO, T. C. F., Rendimento de carcaça, filé e subprodutos da filetagem da tilápia do nilo, *Oreochromis niloticus* (L), em função do peso corporal. **Acta scientiarum maringá**, V. 23, N. 4, P. 897-901, 2001.

SUSSEL, F. R. **Criação de Tilápias cresce vigorosamente no Brasil** .Anuário da Pecuária Brasileira, São Paulo: FNP, 2011.

SCHNÜRER, A.; NORDBERG, A. Ammonia, a selective agent for methane production by syntrophic acetate oxidation at mesophilic temperature. **Water Sci Technol**. 2008.

TEFERA, T.T. Potential for biogas production from slaughter houses residues in Bolivia (production of biogas at psychrophilic temperature). **Master of Science Thesis. Royal Institute of Technology (KTH)**. Stockholm, Sweden, July, 2009.

VDI 4630. Fermentation of organic materials - **Characterisation of the substrate, sampling**. Collection of material data and fermentation tests. Verein Deutscher Ingenieure (Germany Association of Engineers), 2006 96 p.

VIDOTTI, R.M.; LOPES, I.G. resíduos orgânicos gerados na piscicultura. São Paulo. **pesquisa & tecnologia**, vol. 13, n. 2, julho – dezembro, 2016.

WALKLEY, A. & BLACK, I. A. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter, and proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**, 37:29-38, 1934.

WING, Y. Mo; YU, B. M.; , WONG, M. H. Use of food waste, fish waste and food processing waste for China's aquaculture industry: Needs and challenge **Science of the Total Environment** 613–614 (2018) 635–643.

## APÊNDICE

**APÊNDICE -A** - Tabela de acompanhamento da produção de biogás utilizada para a produção das Figuras 6, 7 e 8.

Dia	INÓ	CEL	NAD	PEL	VÍS	CAB	CAR	MIX	ESC
L <sub>N</sub> .kgSV <sup>-1</sup>									
1/dez	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2/dez	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3/dez	0	0	11	6	65	100	97	75	0
4/dez	0	28	93	126	177	245	243	207	0
5/dez	1	169	212	250	349	392	453	404	-1
6/dez	2	280	322	317	528	500	625	603	7
7/dez	3	402	408	349	672	608	725	717	35
8/dez	5	483	457	361	733	676	777	770	54
9/dez	6	559	498	371	778	735	827	812	80
10/dez	8	593	525	377	824	775	857	833	102
12/dez	9	622	551	387	869	827	895	859	139
14/dez	11	643	570	391	895	871	920	874	163
16/dez	13	658	580	392	911	907	937	887	182
18/dez	15	676	589	395	918	952	950	899	198
20/dez	16	682	592	394	921	968	953	904	207
22/dez	18	688	598	397	926	978	959	912	220
24/dez	19	693	603	397	929	986	964	916	232
27/dez	22	696	605	399	928	988	965	918	245
30/dez	25	699	607	401	929	992	966	918	256
02/jan	28	704	609	402	929	998	968	916	267
05/jan	29	710	610	400	929	1003	969	917	276
08/jan	30	714	613	401	933	1008	973	918	286
11/jan	32	719	616	403	937	1013	975	916	293

**Fonte:** Autoria própria

**APÊNDICE -B** - Tabela utilizada na produção das Figuras 9 e 10

<b>Amostra</b>	<b>Biogás acumulado</b>	<b>Proteína</b>	<b>Lipídios</b>
		<b>(%ST)</b>	<b>(%)</b>
NAD	616	52,9±4,6	10,80±1,4
PEL	403	88,0±12,5	2,20±0,1
VIS	937	23,6±0,6	56,8 ±0,3
CAB	1013	40,2±1,4	33,6±0,5
CAR	975	45,6±2,1	31,1±0,4
MIX	916	42,2±4,0	30,1±5,2
ESC	293	57,3±0,2	0,41±0,1

**Fonte:** Autoria própria