



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PESCA
CURSO DE ENGENHARIA DE PESCA

RYANN PIMENTEL DE MOURA ARARIPE

PRODUÇÃO DE BIOGÁS UTILIZANDO MATÉRIA ORGÂNICA PROVENIENTE
DA CRIAÇÃO DE TILÁPIA DO NILO EM SISTEMA AQUAPÔNICO

FORTALEZA

2023

RYANN PIMENTEL DE MOURA ARARIPE

PRODUÇÃO DE BIOGÁS UTILIZANDO MATÉRIA ORGÂNICA PROVENIENTE DA
CRIAÇÃO DE TILÁPIA DO NILO EM SISTEMA AQUAPÔNICO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Pesca, do Departamento de Engenharia de Pesca, do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Pesca.

Orientador: Prof. Dr. Oscar Pacheco Passos Neto.

FORTALEZA

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

A685p Araripe, Ryann Pimentel de Moura.

Produção de biogás utilizando matéria orgânica proveniente da criação de tilápia do Nilo em sistema aquapônico / Ryann Pimentel de Moura Araripe. – 2023.
39 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Curso de Engenharia de Pesca, Fortaleza, 2023.
Orientação: Prof. Dr. Oscar Pacheco Passos Neto.

1. Aquicultura. 2. Aquaponia. 3. *Oreochromis niloticus*. 4. Energia renovável. 5. Biodigestão anaeróbia.
I. Título.

CDD 639.2

RYANN PIMENTEL DE MOURA ARARIPE

PRODUÇÃO DE BIOGÁS UTILIZANDO MATÉRIA ORGÂNICA PROVENIENTE DA
CRIAÇÃO DE TILÁPIA DO NILO EM SISTEMA AQUAPÔNICO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Pesca, do Departamento de Engenharia de Pesca, do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Pesca.

Aprovada em: 07/07/2023.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Oscar Pacheco Passos Neto (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dra. Daniele Ferreira Marques
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof.^a Dra. Kelma Maria dos Santos Pires Cavalcante
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

Aos meus pais, Tereza e Ricardo (*in memoriam*).

A toda minha família e amigos.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Ceará pela oportunidade de ensino e crescimento pessoal.

Ao Prof. Dr. Oscar Pacheco Passos Neto, pela oportunidade de estagiar na Estação de Aquicultura Professor Dr. Raimundo Saraiva da Costa durante os últimos anos, por confiar em meu trabalho, pelo grande enriquecimento que me proporcionou como pessoa e profissional durante todo esse período e por sua excelente orientação.

Às professoras participantes da banca examinadora, Dra. Daniele Ferreira Marques e Dra. Kelma Maria dos Santos Pires Cavalcante pelo seu tempo e valiosas colaborações e sugestões.

A todos os professores do Departamento de Engenharia de Pesca da UFC, em especial ao Prof. Dr. Aldeney Andrade Soares Filho, pelo tempo em que fui seu estagiário, e a Prof.^a Dra. Alessandra Cristina da Silva Farias, por todo o apoio durante a graduação e oportunidade de ser seu monitor.

Aos meus pais, Tereza e Ricardo (*in memoriam*), meu padrasto Magner, minha irmã Gyovanna, minha avó Lucivalda e toda a minha família pelo apoio, carinho e dedicação sempre.

Aos amigos que fiz durante a graduação, Matheus Vasconcelos, Camila Andrade, Dyjhorg Lucas, João Marcelo e Rômulo Mendes.

Aos colegas e amigos que dividiram plantões comigo na Estação durante esses anos, em especial aos que me apoiaram diretamente durante a realização desse experimento, Emerson Forte e Jonnathan Wenderson.

Ao vigilante Eugênio Rodrigues, pelo companheirismo e por sempre zelar pelo bem de todos da Estação.

RESUMO

O aumento da demanda por alimentos e a disponibilidade de recursos naturais, fez com que a procura por sistemas de produção mais intensos e sustentáveis crescesse. Na aquaponia, temos a associação da criação de peixes com hortaliças em sistemas hidropônicos, com a água circulando entre os dois sistemas constantemente. Apesar das plantas aproveitarem parte dos nutrientes residuais, a outra parte é descartada, o que gera um volume considerável de matéria orgânica, que pode ser aproveitada para produção de biogás. Diante disso, nesse experimento, foi avaliado a produção de biogás oriunda da matéria orgânica coletada nos decantadores de um sistema aquapônico do tipo NFT (*Nutrient Film Technique*). Nesse sistema, foram estocadas tilápias do Nilo (*Oreochromis niloticus*) em uma densidade de 10 peixes por m³, totalizando 120 peixes no total, consorciadas com a produção de 200 alfaces tipo cresspa (*Lactuca sativa*). Para o implemento do sistema, foram construídos dois biodigestores do tipo batelada, com capacidade de 50 L cada, ligado a um gasômetro, para possibilitar a leitura de produção de biogás. O material orgânico foi retirado do sistema durante 20 dias, sendo adicionados aos biodigestores após duas fases de decantação (pré-decantação e decantação). A quantificação da produção de biogás foi feita durante 10 dias. Os resultados obtidos demonstram um potencial produtivo 13,74 cm³ por litro de material orgânico depositado nos biodigestores, com produção média de 562,515 cm³ de biogás por quilograma de ração consumida pelos peixes. A produção de biogás a partir de matéria orgânica proveniente da criação de tilápias do Nilo em sistemas aquapônicos é viável, agregando valor à atividade.

Palavras-chave: Aquicultura; Aquaponia; *Oreochromis niloticus*; energia renovável; biodigestão anaeróbia.

ABSTRACT

The increase in demand for food and the availability of natural resources has led to a growing demand for more intensive and sustainable production systems. In aquaponics, we have the association of fish farming with hydroponic vegetable production, with water constantly circulating between the two systems. Although plants utilize some of the residual nutrients, the remaining portion is discarded, generating a considerable amount of organic matter that can be utilized for biogas production. Therefore, in this experiment, the production of biogas from the settled organic matter in the decanters of an NFT (Nutrient Film Technique) aquaponic system was evaluated. In this system, Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) were stocked at a density of 10 fish per m³, totaling 120 fish, in association with the production of 200 heads of butterhead lettuce (*Lactuca sativa*). Two batch-type digesters with a capacity of 50 liters each were built and connected to a gas meter to measure biogas production. The organic material was collected from the system over a period of 20 days and added to the digesters after two settling phases (pre-settling and settling). The quantification of biogas production was conducted over a period of 10 days. The results obtained demonstrate a productive potential of 13.74 cm³ per liter of organic material deposited in the digesters, with an average biogas production of 562.515 cm³ per kilogram of feed consumed by the fish. The production of biogas from organic matter derived from Nile tilapia farming in aquaponic systems is viable, adding value to the activity.

Keywords: Aquaculture; Aquaponics; *Oreochromis niloticus*; Renewable energy; Anaerobic digestion.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Biodigestor modelo indiano.	15
Figura 2 - Biodigestor modelo chinês.....	16
Figura 3 - Biodigestor modelo batelada.....	16
Figura 4 - Representação dos componentes básicos de um sistema aquapônico	21
Figura 5 - Tilápia do Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>).....	23
Figura 6 - Estação de Aquicultura Professor Dr. Raimundo Saraiva da Costa	24
Figura 7 - Sistema aquapônico do tipo NFT, estocado com tilápia do Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>) e alface crespa (<i>Lactuca sativa</i>), de onde foi coletada a matéria orgânica para produção de biogás.....	25
Figura 8 - Sistema experimental para produção de biogás	26
Figura 9 - Esquema geral do sistema experimental para produção de biogás.....	26
Figura 10 - Procedimento de sifonagem da matéria orgânica presente no decantador.....	27
Figura 11 - Coleta da matéria orgânica concentrada para os recipientes de 5 litros.....	28
Figura 12 - Decantação, coleta e abastecimento dos biodigestores.....	28
Figura 13 - Leitura do gasômetro	29
Figura 14 – Comparação de produção diária de biogás entre os biodigestores.....	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – TRH de acordo com a finalidade do biodigestor	17
Tabela 2 – Consumo total, médio (\pm desvio padrão) e por peixe de ração durante o período de coleta.....	31
Tabela 3 – Volume das coletas dos decantadores.....	32
Tabela 4 – Produção mínima, média (\pm desvio padrão), máxima e total de biogás nos biodigestores.....	33
Tabela 5 – Produção diária de biogás nos biodigestores.....	33
Tabela 6 – Orçamento dos principais materiais utilizados para construção dos biodigestores	35

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CCA	Centro de Ciências Agrárias
CH ₄	Metano
CO ₂	Dióxido de carbono
DEP	Departamento de Engenharia de Pesca
DWC	Cultivo em água profunda (DWC do inglês <i>Deep Water Culture</i>)
FAO	Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO do inglês <i>Food and Agriculture Organization of United Nations</i>)
H ₂ S	Sulfeto de hidrogênio
NFT	Técnica do filme de nutrientes (NFT do inglês <i>Nutrient Film Technique</i>)
SRA	Sistema de recirculação de água
TPA	Troca parcial de água
TRH	Tempo de retenção hidráulico
UFC	Universidade Federal do Ceará

LISTA DE SÍMBOLOS

°C	Graus Celsius
%	Porcentagem
cm ³	Centímetro cúbico
cv	Cavalo-vapor
mm	Milímetro
m	Metro
m ³	Metro cúbico
mg/L	Miligramas por litro
L	Litro
mL	Mililitro

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 REVISÃO DE LITERATURA	14
2.1 Fontes renováveis de energia	14
2.2 Biomassa	14
2.3 Biodigestores	15
2.4 Biogás	17
2.5 Aquicultura	18
2.6 Biogás e aquicultura	19
2.7 Sistemas de recirculação de água (SRA)	19
2.8 Aquaponia	20
2.9 Tilápia do Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>)	22
3 MATERIAL E MÉTODOS	24
3.1 Local e período de realização do experimento	24
3.2 Descrição do sistema aquapônico para geração da matéria orgânica	24
3.3 Descrição do sistema experimental para produção de biogás	25
3.4 Delineamento experimental	27
3.5 Análise estatística dos dados	29
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
4.1 Produção de matéria orgânica no sistema aquapônico	31
4.2 Análise da produção de biogás nos biodigestores	32
4.3 Custo de implantação dos biodigestores	35
5 CONCLUSÃO	36
REFERÊNCIAS	37

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a aquicultura ganhou destaque como uma atividade de rápido crescimento na produção de alimentos. Com a mudança dos hábitos alimentares para uma dieta mais saudável, a demanda por proteínas de fontes animais está cada vez maior, com isso, o consumo de espécies aquáticas aumenta conseqüentemente, além de que a depender da espécie a ser cultivada e de seu modo de cultivo, pode se tornar uma alternativa mais sustentável em comparação a outras formas de produção de alimentos. A aquicultura apresenta também uma grande contribuição para a geração de emprego e renda, já que a atividade necessita desde trabalhadores braçais até engenheiros especializados, pesquisadores e gerentes. Os impactos econômicos e sociais gerados pela aquicultura no mundo foram tão significativos nas últimas décadas, que essa experiência passou a ser chamada de *Blue Revolution* (Revolução Azul). O termo faz alusão à experiência com a *Green Revolution* (Revolução Verde), que promoveu grandes transformações na atividade agropecuária e no modo de vida das pessoas a partir da década de 1950 (SIQUEIRA, 2018).

A aquicultura no Brasil tem crescido, principalmente com o cultivo de peixes e camarões, tendo ainda um amplo mercado a ser explorado com a demanda por pescado na alimentação da população. Em 2022, apesar do alto custo dos insumos, sobretudo a alimentação e de preços estáveis aos piscicultores, a produção brasileira de peixe de cultivo cresceu 2,3% em comparação ao ano anterior, representando 860.355 toneladas (PEIXE BR, 2023).

Mesmo com o atual conhecimento e avanços tecnológicos, os processos de produção não possuem total eficiência, implicando na geração de algum tipo de resíduo. Devido ao grande poder poluente de muitos desses resíduos, a legislação ambiental impõe que os mesmos devam ter um destino adequado a fim de minimizar possíveis prejuízos ambientais. Dessa forma, tem-se buscado desenvolver e incentivar a adoção de tecnologias que utilizem fontes renováveis de insumos na produção, reciclagem e reaproveitamento de resíduos (COLDEBELLA, 2006).

Diante disso, a busca por processos produtivos autossustentáveis passou a ter grande relevância recentemente em diversos campos da sociedade governamental, empresarial, acadêmica e científica, entre outros. A busca por processos autossustentáveis passa pelo conceito de redução de custo na produção, da poluição atmosférica, além da preocupação ambiental, geração de empregos *etc.* Mesmo com a tecnologia da biodigestão sendo conhecida, ainda não é potencialmente desenvolvida em algumas partes do mundo (ARTHUR *et al.*, 2011).

A principal vantagem da tecnologia de biodigestão está na geração de energia renovável pela degradação de resíduos orgânicos com baixo teor de nutrientes, utilizando diferentes substratos, além do baixo custo do processo de produção, sendo uma alternativa para atender as necessidades futuras de energia (KHALID *et al.*, 2011; SILVA, 2009).

A produção de biogás é realizada, de forma mais comum, com dejetos provenientes da bovinocultura, suinocultura e avicultura, além de outros materiais orgânicos, tornando-se um processo interessante do ponto de vista econômico por aliar o tratamento de resíduos à produção de energia renovável (FARIAS *et al.*, 2012).

A tecnologia de biodigestão anaeróbia, para produção de biogás, simula o processo natural pelo qual a matéria orgânica é decomposta na ausência de oxigênio, que ocorre em aterros sanitários, por exemplo, onde a ação microbiana produz um gás rico em metano. Esses microrganismos anaeróbicos convertem materiais orgânicos biodegradáveis em metano (CH₄) e em dióxido de carbono (CO₂), sendo realizado em reatores fechados e em temperaturas elevadas (AMIGUN; BLOTTNITZ, 2010).

O processo de digestão anaeróbia tem como finalidade a remoção da carga orgânica poluente, produção e captação do metano na forma de biogás além da produção de biofertilizante. A eficiência desse processo pode ser influenciada por diversos fatores, como por exemplo, o pH e a temperatura (INOUE, 2008).

Biodigestores de baixo custo são baseados nos princípios de engenharia ecológica, utilizando o mínimo possível de insumos externos no tratamento de dejetos, materiais orgânicos, águas residuárias, com a finalidade de captar energia renovável, resultando em diversos benefícios (LANSING *et al.*, 2008).

A produção de biogás a partir da matéria orgânica de peixes apresenta várias vantagens, que vão desde a redução da poluição ambiental, até mesmo a produção de energia renovável, podendo se tornar uma alternativa promissora que alia sustentabilidade e rentabilidade no setor aquícola.

Dessa forma, o objetivo geral deste trabalho foi produzir biogás a partir da matéria orgânica proveniente da criação de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) em sistema aquapônico. Como objetivos específicos: construir os biodigestores e gasômetros; quantificar a produção de matéria orgânica durante o período de 20 dias; avaliar a quantidade de gás produzida nos biodigestores em períodos de 24 horas; e relacionar a produção de gás com a quantidade de ração consumida.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Fontes renováveis de energia

Por serem capazes de se regenerar, as fontes renováveis de energia, são consideradas inesgotáveis, minimizam o impacto ambiental e contornam a utilização de matérias prima não renováveis. Dentre elas as mais conhecidas são a energia eólica, hidráulica, solar, geotérmica e de biomassa. Além disso, o desenvolvimento de tecnologias para o aproveitamento dessas fontes renováveis poderá beneficiar comunidades rurais e regiões remotas, assim como uma produção agrícola com autonomia energética e consequente melhora da qualidade de vida dos habitantes (COSBEY, 2011). O Brasil possui uma matriz elétrica predominantemente renovável, com destaque para a fonte hídrica, que é responsável por 53,4% da oferta interna. As fontes renováveis, de maneira geral, correspondem a 78,1% da oferta interna de eletricidade no Brasil (BEN, 2022).

A biomassa é considerada uma das principais alternativas para a diversificação da matriz energética mundial e consequente redução da dependência dos combustíveis fósseis, apresentando grande potencial de crescimento (ANEEL, 2008).

2.2 Biomassa

Estando presente na história da civilização, a biomassa foi inicialmente utilizada na forma de lenha ou carvão. A partir de meados do século XX, outras formas de aproveitamento da biomassa passaram a ganhar destaque. Embora apresente desvantagens, como eficiência reduzida, a utilização da biomassa tem como grandes vantagens o aproveitamento direto por meio da combustão em fornos e caldeiras, além da redução de impactos socioambientais. O interesse na utilização da biomassa como fonte energética limpa e renovável tem ganhado espaço no mercado de energia, sendo considerada uma boa alternativa para a diversificação da matriz energética mundial e a redução da dependência dos combustíveis fósseis (CARDOSO, 2012).

A biomassa pode ser entendida como qualquer matéria orgânica que possa ser transformada em energia, seja mecânica, térmica ou elétrica. Podendo ser classificada a partir de sua origem: florestal, agrícola e rejeitos urbanos e industriais, os derivados obtidos dependem diretamente da matéria prima utilizada e da tecnologia empregada. Um dos processos mais utilizados para tratamento de dejetos orgânicos é a digestão anaeróbica, que ocorre nos

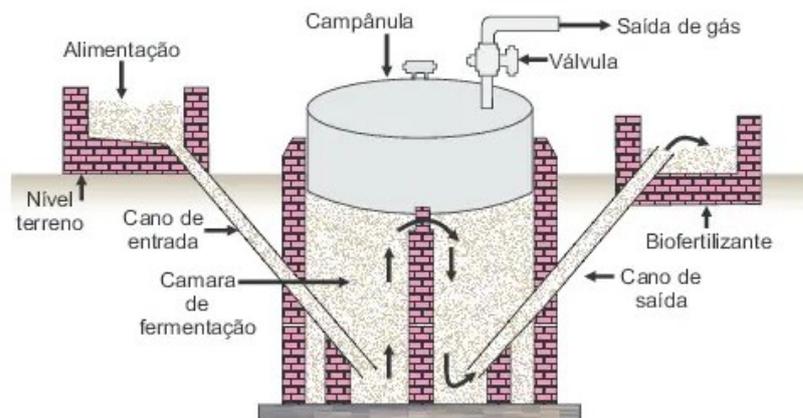
biodigestores, onde as bactérias decompõem esse material na ausência de oxigênio, resultando no que é conhecido como biogás (ANEEL, 2008).

2.3 Biodigestores

O biodigestor é uma câmara fechada onde o material orgânico é depositado, para que, na ausência de oxigênio, ocorra a digestão anaeróbica e consequente produção de biogás. Existem diversos modelos de biodigestores, mas os mais comuns de serem encontrados em propriedades rurais, por sua fácil instalação e operação, são os modelos indiano, chinês e batelada (DEGANUTTI *et al.*, 2002).

O modelo indiano (FIGURA 1), conta com abastecimento contínuo, sendo adotado geralmente em pequenas propriedades e que apresentem um fluxo contínuo de produção de material orgânico. Seu sistema é constituído de uma caixa para entrada dos dejetos, tanque biodigestor e caixa de saída, sua construção é subterrânea e em alvenaria, ocupando pouco espaço e dispensando o uso de reforços estruturais. Uma parede central divide o tanque em duas câmaras e tem como função promover a circulação da matéria orgânica, uma cúpula atua como gasômetro, que pode estar mergulhada na biomassa em fermentação ou em um selo de água externo, a necessidade dessa cúpula encarece os custos de sua instalação (EMBRAPA, 2021).

Figura 1 - Biodigestor modelo indiano

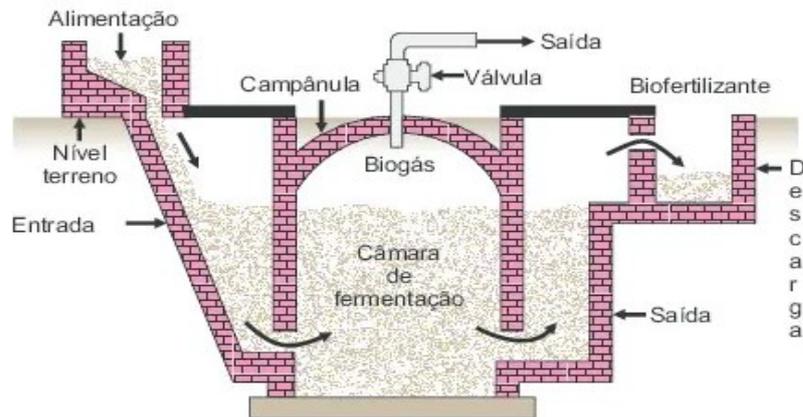


Fonte: emasjr.com.br (2020).

O modelo chinês (FIGURA 2) é voltado para pequenas propriedades assim como o indiano, mas, por ser de peça única, apresenta um menor valor de instalação, uma vez que seu gasômetro também é de alvenaria. É formado por uma câmara cilíndrica em alvenaria com teto abobadado, para armazenar o gás. Seu funcionamento é baseado no princípio da prensa

hidráulica, onde o aumento da pressão interna deslocará o efluente para a saída. Entretanto, por conta de seu funcionamento, parte do biogás pode ser liberada através da caixa de saída, diminuindo sua eficiência (EMBRAPA, 2021).

Figura 2 - Biodigestor modelo chinês



Fonte: emasjr.com.br (2020).

O modelo batelada (FIGURA 3) é bem simples e com baixa exigência operacional, sendo composto por um tanque anaeróbico, ou vários tanques em série, seu abastecimento é único, mantendo a fermentação por um período conveniente. Enquanto os modelos indiano e chinês recebem uma alimentação contínua, o modelo batelada é mais indicado para propriedades em que esse fluxo seja em períodos mais longos, como ocorre em granjas avícolas, onde a biomassa fica disponível após a venda dos animais e a limpeza do galpão (DEGANUTTI *et al.*, 2002).

Figura 3 - Biodigestor modelo batelada



Fonte: Deganutti *et al.* (2002).

Segundo Quevedo (2011), o tempo de retenção hidráulico (TRH) é o que determina a prioridade na produção de biogás ou biofertilizante, e corresponde ao tempo necessário para que toda a carga do biodigestor seja substituída. Durante esse período, os microrganismos atuarão na biomassa para fermentá-lo.

De acordo com Lucas Júnior *et al.* (2003 *apud* GONÇALVES, 2012), o tempo de retenção hidráulico (TRH) é definido a partir da finalidade do biodigestor (TABELA 1).

Tabela 1 – Tempo de retenção hidráulico (TRH) de acordo com a finalidade do biodigestor

Produção no Biodigestor	TRH
Produção de Biogás	10 a 20 dias
Produção de Biofertilizante	50 a 60 dias
Produção de Biogás + Biofertilizante	30 dias

Fonte: Lucas Júnior *et al.* (2003 *apud* GONÇALVES, 2012).

2.4 Biogás

O biogás é uma das alternativas mais sustentáveis, com condições de reduzir tanto o metano orgânico quanto o CO₂ lançado na atmosfera. Durante a queima do biogás, o metano é transformado em CO₂ e água, reduzindo o impacto climático negativo e consequentemente tornando lucrativa a atividade de processar os resíduos e, com algum processamento, poderá se tornar uma alternativa ao gás natural em todas as suas aplicações. O processo de produção do biogás avançou bastante recentemente, com melhoria dos processos de resíduos sólidos e esgotos, desenvolvimento de processos para digestão anaeróbica, na produção de calor e energia, em sua purificação e na extração de químicos (BNDES, 2018)

Segundo Cassini *et al.* (2003), o biogás é definido como uma mistura de gases produzidos pela conversão anaeróbia de resíduos agroindustriais, que tem como principal constituinte o metano, além de outros gases, como o dióxido de carbono e o gás sulfídrico, que a depender da composição do resíduo tratado, estará presente ou não.

A composição desse biogás varia de acordo com o efluente utilizado, estando diretamente relacionada com as características da biomassa, manejo adotado, tipo de sistema e tecnologia utilizados no processo de biodigestão. Os valores de gás metano (CH₄) variam de 54,3% a 69,2%; os valores de dióxido de carbono (CO₂) variam de 29,6% a 44,9%; já o sulfeto de hidrogênio (H₂S) variou entre 0,00641% e 0,27823% (LINS; MITO; FERNANDES, 2015).

Diferente da energia eólica ou solar, o biogás pode ser gerado de forma contínua, podendo ser estocado, seja na forma de matéria-prima ou gás comprimido. Se destaca também por apresentar “pegada negativa de carbono”, pois além de ser de baixa emissão, mitiga a poluição que seria causada, em caso de não aproveitamento desses resíduos. Quando derivado de atividades agropecuárias, é considerado fator de segurança energética, uma vez que no meio rural, a energia elétrica em áreas distantes é mais comprometida. As principais aplicações comerciais do biogás são a energia elétrica, por meio da sua queima em motogeradores, fabricação de biometano (após retirada do CO₂ e contaminantes, até que se atinja 96,5% do CH₄) para substituir o gás natural, em especial o veicular, e, por fim, os resíduos como fertilizantes. O biofertilizante é o resíduo não orgânico gerado no processo de biodigestão, pode ser diluído em água para ser utilizado nas lavouras, por meio da fertirrigação, ou passar por processos de secagem e compostagem, para ser armazenado ou até mesmo vendido na forma sólida (BNDES, 2018).

2.5 Aquicultura

A aquicultura pode ser definida como a criação de organismos aquáticos, incluindo peixes, crustáceos, moluscos e cultivo de plantas aquáticas e algas, seja em água doce, salobra ou salgada. É uma atividade que envolve o manejo controlado desses organismos em ambientes aquáticos para a produção de alimentos, produtos e serviços. Desempenha papel fundamental na segurança alimentar, especialmente considerando o aumento da demanda por proteína animal devido ao crescimento populacional. A produção mundial de animais aquáticos em 2020 foi estimada em 178 milhões de toneladas, apontando uma pequena queda em relação ao recorde de 2018 (179 milhões de toneladas), a pesca contribuiu com 90 milhões de toneladas, representando 51%, a aquicultura, foi responsável por 88 milhões de toneladas, representando 49% (FAO, 2022).

De acordo com a PeixeBR (2023), assim como nos anos anteriores, a tilápia foi o peixe mais criado no Brasil. Em 2022, foram produzidas 550.060 toneladas, volume que representa 63,93% de toda a produção nacional de peixes de cultivo. O Paraná é o estado brasileiro com maior produção de tilápias, com mais de 34% do volume total (187.800 toneladas).

2.6 Biogás e aquicultura

De acordo com Machado *et al.* (2013), o sistema de criação intensiva de peixes gera quantidades consideráveis de matéria orgânica, que podem ser digeridos anaerobicamente, entretanto, diferente dos resíduos provindos da suinocultura e bovinocultura, os dejetos de peixe precisam ser decantados, para que se obtenha um material mais concentrado e adequado para a produção de biogás. Os resultados obtidos viabilizam a produção de biogás provenientes da piscicultura quando em criação intensiva em alta escala, com produção diária estimada de 18,34 cm³ por litro de dejetos, destacando a oportunidade para o mercado de piscicultura intensiva, visando o tratamento dos dejetos decantados de peixes, gerando dois subprodutos: o biogás e o biofertilizante.

Martins (2016), destaca que para se ter sucesso na biodigestão, o processo de coleta dos dejetos deve ser muito bem conduzido, pois o volume gerado pelo sistema de criação intensiva de peixes com recirculação é baixo. Além disso, a temperatura influencia diretamente na produção do biogás. A biodigestão de dejetos de tilápia em sistema intensivo de recirculação é viável, apresentando média de produção diária de 9,95 cm³ por litro de dejetos, e com facilidade para que esses dejetos sejam coletados.

A utilização de tecnologias ecologicamente corretas na gestão dos resíduos provenientes da aquicultura, promovem um estímulo para que esses dejetos se tornem interessantes para as empresas. A implementação dessas ações de valorização dos efluentes, promovem uma redução na carga de resíduos orgânicos em aterros e oceanos, apresentando vantagens do ponto de vista ambiental, além de agregar com a produção de energia e biofertilizante resultantes do processo de biodigestão (XIMENES *et al.*, 2021).

2.7 Sistemas de recirculação de água (SRA)

Com o aumento da demanda de alimentos e a disponibilidade limitada de recursos naturais, a adoção de sistemas de produção mais intensos, sustentáveis e com utilização de menos recursos e menor poluição é cada vez mais necessária.

A adoção do uso de sistemas de recirculação de água está diretamente relacionada à análise de custo/benefício, à disponibilidade de água e de terras, as condições climáticas e ao valor de mercado da espécie a ser cultivada. É esperado que com o aumento da conscientização pública em relação a questões como a pesca predatória, economia de água, diminuição da

poluição, bem estar animal e ética, a utilização de SRA no meio comercial cresça (VAN RIJN, 2013).

Segundo Kubitza (2006), os principais entraves encontrados para que o uso de sistemas de recirculação de água está relacionado ao alto custo em sua implantação, falta de conhecimento em sua operação e falta de mão de obra qualificada, uso de rações com baixa qualidade, sistemas mal dimensionados, o uso de espécies com baixo preço de mercado e, inadequado manejo sanitário.

Ainda de acordo com Kubitza (2006), sistemas de recirculação podem ser definidos a partir de sua composição, podendo ser um sistema de uma única linha de tratamento ou sistema com tanques isolados. O primeiro, apresenta menor custo de implementação, entretanto há maior risco de disseminação de doenças, além de apresentar tratamento menos eficiente e oneroso. Em caso de ser necessário o uso de produtos, estes podem prejudicar as bactérias do reator biológico, para se realizar a limpeza ou reparos estruturais, todo o sistema é comprometido. No segundo, cada tanque conta seu próprio sistema de tratamento de água, nesse formato, há maior segurança tanto em questão sanitária quanto em necessidade de reparos estruturais, entretanto, nesse modelo, o investimento, a operação e a manutenção do sistema são mais onerosas, dificultando seu manejo diário com necessidade de mais mão de obra, pois por se tratar de sistemas isolados, o monitoramento e as correções de qualidade de água, precisam ser de acordo com as condições de cada tanque.

2.8 Aquaponia

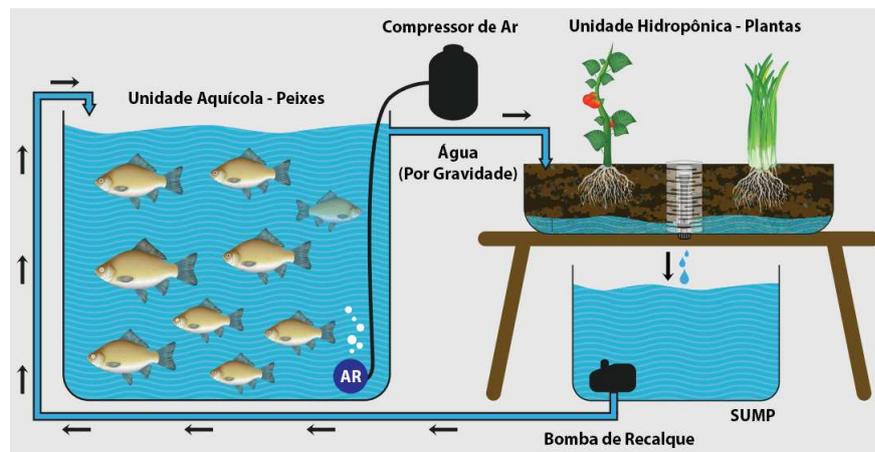
Na aquicultura tradicional, a matéria orgânica produzida durante o cultivo, se acumula na água, tornando o ambiente impróprio para o seu pleno desenvolvimento, por conta disso, métodos devem ser adotados para solucionar esse problema, sendo comum a realização de troca parcial de água (TPA) ou até mesmo uma troca total. Já no sistema aquapônico, a água que seria descartada por ser prejudicial ao desenvolvimento dos peixes, serve para alimentar um sistema hidropônico, onde os subprodutos são metabolizados por um grupo de bactérias nitrificantes, tornando possível que as plantas utilizem esses nutrientes para o seu desenvolvimento (MACHADO, 2019).

No início dos estudos com a aquaponia, pensava-se que apenas plantas menos exigentes como as folhosas poderiam ser cultivadas neste sistema. Entretanto, com o avanço dos estudos, já se sabe que é possível produzir uma gama muito grande de espécies vegetais em aquaponia, como alface, manjeriço, agrião, repolho, rúcula, morango, pimenta, tomate, quiabo,

pepino e muitas outras. Espécies vegetais adaptadas à hidroponia são sempre recomendadas para a aquaponia (CARNEIRO *et al.*, 2015).

De acordo com a FAO (2014), a aquaponia integra os sistemas de recirculação com a hidroponia, aproveitando uma interação simbiótica entre os peixes, as plantas e as bactérias benéficas. Em um sistema aquapônico, a água dos tanques passa pelos filtros, canteiros de cultivo de plantas e depois volta para os peixes (FIGURA 4). No filtro, os dejetos são removidos através do filtro mecânico, que tem como função remover os resíduos sólidos, depois, passa pelo reator biológico, onde os resíduos dissolvidos são processados, nesta etapa, as bactérias convertem a amônia que é tóxica para os peixes, em nitrato, um nutriente mais acessível para as plantas. Esse processo é conhecido como nitrificação. Com a passagem da água (contendo nitrato e outros nutrientes) pelas plantas, à medida que as plantas absorvem os nutrientes, purificam a água que retorna para os tanques.

Figura 4 - Representação dos componentes básicos de um sistema aquapônico



Fonte: adaptado de FAO (2014).

Os sistemas aquapônicos podem ser desenvolvidos de diferentes formas e, de acordo com Carneiro *et al.* (2015), temos os seguintes modelos:

- Ambiente de cultivo em cascalho (*media-fille bed, gravel bed*), consiste em um sistema onde a água do tanque de criação dos peixes é bombeada para o ambiente de cultivo, que por sua vez utilizará um substrato onde as bactérias nitrificantes estarão em maior quantidade (servindo de filtro biológico), será também onde as plantas irão se desenvolver. Após passar pelo ambiente de cultivo dos vegetais, o retorno para os tanques é feito por gravidade.

- Ambiente flutuante (DWC – *deep water culture, floating, raft*), que consiste em um sistema com canais longos e estreitos, onde as plantas são apoiadas em placas de poliestireno, com suas raízes submersas durante todo o cultivo, necessitando de aeração presente ao longo dessa área, para que a demanda de oxigênio seja atendida. Dependendo do porte do sistema, não há necessidade da existência de um reator biológico, devido à grande área para o desenvolvimento das bactérias. Entretanto, a filtragem dos sólidos deve ser muito eficiente, para não comprometer os canais com excesso de matéria orgânica, diminuindo a eficiência do processo de nitrificação, conseqüentemente elevando os custos de mão de obra para que esse excesso seja removido.

- Ambiente de cultivo em canaletas (NFT – *nutriente film technique*), nesse modelo, as raízes das plantas ficam parcialmente submersas em canaletas por onde a água é bombeada, levando os nutrientes necessários para o desenvolvimento. Para seu funcionamento, a água que sai dos tanques deve passar por um sistema de filtragem de sólidos, para evitar que essas partículas fiquem presas às raízes das plantas, prejudicando o seu desenvolvimento, além disso, há necessidade de um reator biológico, pois a superfície molhada das canaletas não apresenta área suficiente para o processo de nitrificação da amônia produzida pelos peixes.

- Ambiente de cultivo em areia (*wicking bed*), o menos comum dentre todos, trata-se de um modelo onde as plantas ficam em substrato de areia, e por meio de canos de PVC perfurados, mantendo uma lâmina d'água de cerca de 5 cm de altura. Por capilaridade, essa água chega a subir por cerca de 20 cm até a superfície, levando os nutrientes necessários para o desenvolvimento das plantas.

2.9 Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*)

A tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) (FIGURA 5), foi um dos primeiros peixes a serem cultivados no mundo, com ilustrações no Egito que sugerem que a tilápia foi criada há mais de 3.000 anos. Esta espécie pode ser identificada por uma linha lateral interrompida, característica dos peixes da família *Cichlidae*. Sendo comprimidos lateralmente e o corpo profundo com uma longa nadadeira dorsal. Apresentam características muito positivas para as criações comerciais, são peixes mais resistentes a vírus, bactérias e parasitas que outros peixes comuns para cultivo, têm um ciclo comercial de cerca de 6 a 8 meses, atingindo por volta de 700 gramas, toleram águas de baixa qualidade e consomem uma grande faixa de alimentos naturais, além de aproveitarem muito bem as rações. Entretanto, não suportam temperaturas

abaixo de 10 a 11 °C, além de apresentarem maturidade sexual precoce, resultando em desovas antes de atingir o seu tamanho comercial (BRAZ FILHO, 2000).

Figura 5 - Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*)



Fonte: autor (2023).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local e período de realização do experimento

O experimento foi realizado na Estação de Aquicultura Professor Dr. Raimundo Saraiva da Costa (FIGURA 6), do Departamento de Engenharia de Pesca, do Centro de Ciências Agrárias, localizada no *Campus* do Pici da Universidade Federal do Ceará (DEP/CCA/UFC).

Figura 6 - Estação de Aquicultura Professor Dr. Raimundo Saraiva da Costa



Fonte: autor (2023).

O período experimental teve início no dia 17 de abril de 2023, com o começo das coletas da matéria orgânica e teve fim no dia 17 de maio, com a última leitura de produção de gás. O experimento decorreu durante 31 dias, sendo 20 dias de coletas e 11 dias de leitura de produção de gás.

3.2 Descrição do sistema aquapônico para geração da matéria orgânica

O sistema aquapônico de onde foi coletada a matéria orgânica, está presente na Estação de Aquicultura da UFC, é do tipo NFT, sendo composto por duas unidades produtivas independentes, cada uma contando com: três tanques retangulares de alvenaria de 2 m³ interligados por sifões; quatro canaletas hidropônicas de nove metros; sistema de filtragem composto por decantador de 500 L com escovas filtrantes para retenção dos sólidos; filtro mecânico pressurizado com leito fixo de areia; reator biológico de 500 L contendo 198 L de mídia biológicas (Biotech 500) e; torre desgaseificadora acima do reator biológico (FIGURA

7). Todo o sistema foi coberto com tela do tipo sombrite (50%). A circulação da água entre as unidades do sistema se dava por uma bomba com vazão nominal máxima de 12.000 L/h, além de uma bomba de ½ cv no filtro mecânico pressurizado.

Figura 7 - Sistema aquapônico do tipo NFT, estocado com tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) e alface crespa (*Lactuca sativa*), de onde foi coletada a matéria orgânica para produção de biogás



Fonte: autor (2023).

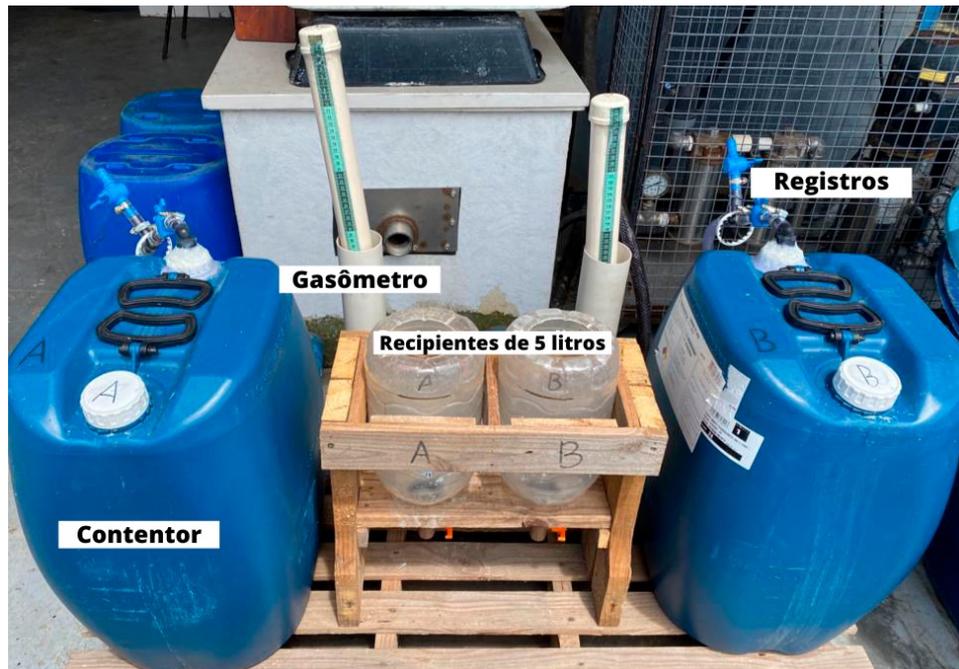
Durante a coleta de matéria orgânica para a produção de biogás, estavam estocadas 20 tilápias do Nilo (*Oreochromis niloticus*) por tanque, totalizando 60 peixes por unidade produtiva, em uma densidade de 10 peixes por m³. Em cada canaleta hidropônica, estavam estocadas 25 alfaces do tipo crespa (*Lactuca sativa*), totalizando 200 plantas.

3.3 Descrição do sistema experimental para produção de biogás

O sistema para produção de biogás, foi composto por dois contentores (A e B) de 50 litros de capacidade cada, adaptado para armazenar a matéria orgânica proveniente do sistema aquapônico e servir de biodigestor. Cada contentor foi conectado através de mangueiras de ½ polegada, com dois registros, a um gasômetro com selo d'água, construído com tubos e conexões de PVC de 25, 50 e 75 mm de diâmetro. O tubo de 50 mm foi graduado em

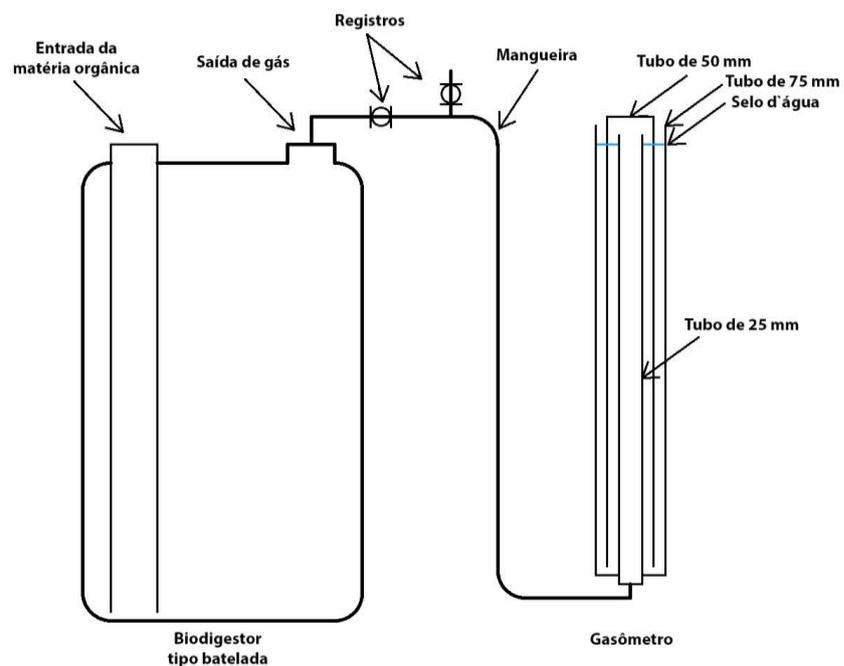
centímetros com uma trena fixada nele, possibilitando as leituras. Para que a matéria orgânica decantasse e fosse posteriormente adicionada ao biodigestor, foram utilizados dois recipientes cilindro-cônicos com capacidade de 5 litros cada, adaptados com registros de 20 mm na tampa, possibilitando determinar o volume de sólidos sedimentáveis de cada coleta (FIGURAS 8 e 9).

Figura 8 - Sistema experimental para produção de biogás



Fonte: autor (2023).

Figura 9 – Desenho esquemático do sistema experimental para produção de biogás



Fonte: autor (2023).

3.4 Delineamento experimental

A coleta do material ocorreu durante 20 dias consecutivos e em duas etapas, durante o período da manhã. Iniciando às 08h00min, com a remoção das escovas filtrantes dos decantadores de cada unidade produtiva presente no sistema aquapônico do tipo NFT.

Com o auxílio de uma mangueira de $\frac{1}{2}$ polegada e um balde de 45 litros, foi realizada a sifonagem de fundo do decantador (FIGURA 10), coletando-se 20 litros durante o processo. Após esta etapa, o material coletado foi agitado no balde e ficou 15 minutos em repouso, ocorrendo uma pré-decantação para facilitar a segunda etapa.

Figura 10 - Procedimento de sifonagem da matéria orgânica presente no decantador



Fonte: autor (2023).

Na segunda etapa, o material concentrado foi novamente sifonado para os recipientes de 5 litros, até completar seu volume útil (FIGURA 11).

Figura 11 - Transferência da matéria orgânica concentrada para os recipientes de 5 litros



Fonte: autor (2023).

Ao finalizar a transferência em ambos os lados (A e B), o material decantava por três horas e, após esse período, com o auxílio de uma garrafa graduada em mililitro, abrindo os registros, foi registrado o volume de sólidos sedimentáveis presentes nas garrafas, que abasteceria posteriormente os biodigestores (FIGURA 12).

Figura 12 - Decantação, coleta e abastecimento dos biodigestores



Fonte: autor (2023).

Ao final dos 20 dias de coletas, iniciaram-se as leituras dos gasômetros. As leituras ocorreram durante 11 dias e foram padronizadas às 11h00min, observando o clima do momento (ensolarado, nublado ou chuvoso), possibilitando saber se a temperatura ambiente foi mais baixa ou mais alta e, a altura do gasômetro em centímetros (FIGURA 13). Após registrar a altura de ambos os lados e o clima, o registro foi aberto para esvaziar o gasômetro e fechado para que a produção ocorresse novamente durante as 24 horas e possibilitasse a próxima leitura.

Figura 13 - Leitura do gasômetro



Fonte: autor (2023).

3.5 Análise estatística dos dados

Em posse dos dados da leitura de cada gasômetro, foi possível estipular o volume de gás produzido nos biodigestores, com auxílio da Equação (1):

$$V = \pi \times r^2 \times h \quad (1)$$

Em que:

V = volume da cúpula do gasômetro (cm³)

r = raio da cúpula do gasômetro (cm)

h = altura de elevação da cúpula do gasômetro (cm)

Para os dados coletados foi realizada estatística descritiva com volume total, cálculo da média, do desvio padrão e dos valores máximos e mínimos. Os gráficos e tabelas foram elaborados utilizando um programa computacional de planilhas eletrônicas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Produção de matéria orgânica no sistema aquapônico

Durante o período de coleta de matéria orgânica para o experimento, o consumo total de ração das 120 tilápias do Nilo do sistema aquapônico foi de 17.826,30 g (TABELA 2). O consumo médio diário de todo o sistema foi de $891,32 \pm 76,19$ g, resultando em uma média diária total de consumo de $7,43 \pm 1,27$ g por peixe. Na unidade produtiva A, o consumo total de ração foi de 8.691,2 g, com um consumo médio diário de $434,56 \pm 76,91$ g em toda a unidade, já na unidade produtiva B, o consumo total foi de 9.135,1 g, com um consumo médio diário de $456,76 \pm 73,82$ g em toda a unidade, resultando em $7,24 \pm 1,28$ g e $7,61 \pm 1,23$ g de consumo de ração diário por peixe em todo o sistema de cada unidade, respectivamente.

Tabela 2 – Consumo total, média \pm desvio padrão e por peixe de ração durante o período de coleta

Unidade produtiva	Peixes	CTR ¹ (g)	CMRD ² (g)	CMRD/P ³ (g)
A	60	8.691,20	$434,56 \pm 76,91$	$7,24 \pm 1,28$
B	60	9.135,10	$456,76 \pm 73,82$	$7,61 \pm 1,23$
A + B	120	17.826,30	$891,32 \pm 76,19$	$7,43 \pm 1,27$

⁽¹⁾Consumo Total de Ração. ⁽²⁾Consumo Médio de Ração Diário. ⁽³⁾Consumo Médio de Ração Diário por Peixe. Fonte: autor (2023).

As coletas somaram um total de 800 litros de água que foram sifonados dos decantadores (TABELA 3), uma média diária de 40 L de todo o sistema, equivalente à aproximadamente 0,29% do volume total de água do sistema aquapônico, que foi de 14.000 L. A fração total de matéria orgânica decantável sifonada foi de 9,13%, resultando em um volume de 73 L de matéria orgânica que foi depositada nos biodigestores, uma média diária de 3,65 L por dia, aproximadamente 30,42 mL por peixe. Na unidade produtiva A, a porcentagem de matéria orgânica decantada foi de 10,43%, já em B, foi de 7,82%. O biodigestor A foi abastecido com 41,73 L e o B com 31,27 L de matéria orgânica decantada, esses volumes foram obtidos a partir das coletas do decantador presente em cada uma das unidades produtivas. O volume médio de matéria orgânica decantada diariamente de cada unidade foi de 2,09 L em A e 1,59 L em B, e o volume médio decantado por peixe foi de 34,83 mL e 26,50 mL, respectivamente.

Tabela 3 – Volume das coletas dos decantadores

UP ¹	VT ² (L)	VM ³ (L)	%DT ⁴	VD ⁵ (L)	VM/D ⁶ (L)	VD/P ⁷ (mL)
A	400	20 ± 0	10,43	41,73	2,09 ± 0,64	34,83 ± 10,62
B	400	20 ± 0	7,82	31,27	1,59 ± 0,59	26,50 ± 9,81
A+B	800	40 ± 0	9,13	73	3,65 ± 0,67	30,42 ± 11,12

⁽¹⁾Unidade produtiva. ⁽²⁾Volume Total Coletado. ⁽³⁾Volume Médio de Coleta Diário. ⁽⁴⁾Porcentagem de Matéria Orgânica Decantada Total. ⁽⁵⁾Volume Total de Matéria Orgânica Decantada. ⁽⁶⁾Volume Médio de Matéria Orgânica Decantada Diariamente. ⁽⁷⁾Volume Médio de Matéria Orgânica Decantada Diariamente por Peixe.

Fonte: autor (2023).

Relacionando os dados obtidos nas Tabelas 1 e 2, durante o período de coleta de 20 dias, há uma relação na unidade produtiva A de 4,801 L de matéria orgânica decantável por quilograma total de ração consumida, e a relação volume de matéria orgânica por animal foi de 0,696 L. Na unidade produtiva B, a relação é de 3,423 L de matéria orgânica decantável por quilograma total de ração consumida, e a relação volume de matéria orgânica por animal foi de 0,521 L.

Martins (2016), relacionando a produção de matéria orgânica em um sistema intensivo de recirculação, com a mesma espécie, obteve valores de 4,145 L de dejetos por quilograma de ração consumida, e com relação ao número de peixes, observou-se uma relação de 1,296 L de dejetos por animal, considerando ser um dado importante para dimensionar projetos de biodigestores para uso em sistemas de criação intensiva de peixes com recirculação.

4.2 Análise da produção de biogás nos biodigestores

No experimento, foi adotado um tempo de retenção hidráulico (TRH) de 30 dias. Lucas Júnior *et al.* (2003 *apud* GONÇALVES, 2012) definem esse período como tempo ideal para que ocorra tanto a produção de biogás quanto de biofertilizante.

Martins (2016), ao comparar quatro biodigestores, observou que os que não tiveram agitação, obtiveram os melhores resultados. Souza (2005), ao avaliar a agitação em biodigestores operando com dejetos de suínos, atribui que a aplicação de agitação não causou diferença significativa na produção acumulada de gás. Os biodigestores sem agitação apresentaram melhores resultados. O efeito negativo da agitação, pode estar relacionado ao excesso na rotação da bomba, exigindo mais estudos para definir a quantidade adequada de rotações por minuto aplicada ao substrato.

Dessa forma, não houve o uso de agitação durante o presente experimento, pois além das evidências de que sua adoção não contribuiu efetivamente para uma maior produção de biogás, tornaria o custo de implantação do sistema mais elevado.

Os dois biodigestores produziram biogás, com valores médios de $1.002,76 \pm 204,09$ cm^3 de produção diária e volume total acumulado de $10.027,57$ cm^3 . O sistema A apresentou média diária de $550,96 \pm 194,24$ cm^3 de volume de gás produzido e o sistema B, teve em média $451,80 \pm 211,53$ cm^3 de volume de gás diário produzido (TABELAS 4 e 5). Ambos os sistemas (A e B), apresentaram vazamentos e devido a este fato, os valores mínimos foram iguais a 0.

Tabela 1 – Produção mínima, média (\pm desvio padrão), máxima e total de biogás nos biodigestores

Biodigestor	VMIN¹ (cm³)	VMED² (cm³)	VMAX³ (cm³)	VT⁴ (cm³)
A	0	550,96 \pm 194,24	636,17	5.509,57
B	0	451,80 \pm 211,53	620,46	4.518,00
A + B	0	1.002,76 \pm 204,09	1.256,63	10.027,57

⁽¹⁾Volume Mínimo. ⁽²⁾Volume Médio. ⁽³⁾Volume Máximo. ⁽⁴⁾Volume Total.

Fonte: autor (2023).

Tabela 2 – Produção diária de biogás nos biodigestores

Dia de leitura	Biodigestor	
	Produção A (cm³)	Produção B (cm³)
1	589,05	539,96
2	636,17	492,84
3	628,32	620,46
4	612,61	608,68
5	616,54	149,23 ¹
6	591,01	0 ¹
7	626,36	402,52 ²
8	612,61	598,87
9	596,90	545,85
10	0 ¹	559,60
Total	5.509,57	4.518,00

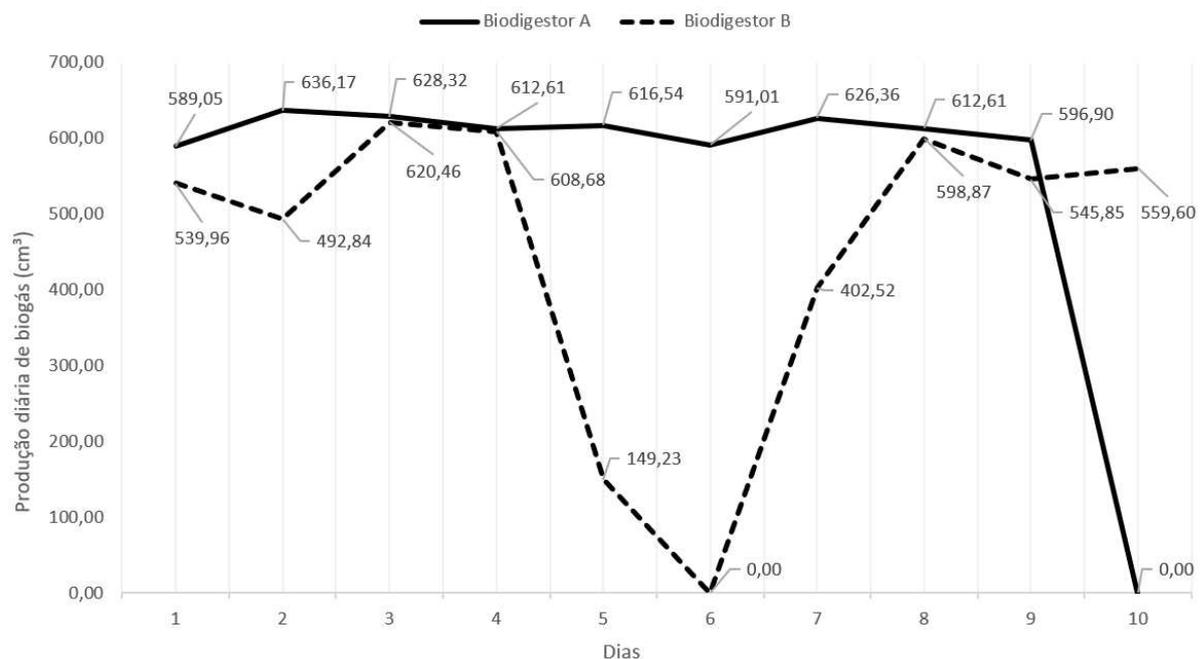
⁽¹⁾Vazamento. ⁽²⁾Menor tempo de volume acumulado.

Fonte: autor (2023).

O biodigestor A foi abastecido com 41,73 L de matéria orgânica, enquanto que o B foi abastecido com 31,27 L, dessa forma, a produtividade média de biogás diária em A foi de $13,20$ cm^3 por litro de material abastecido, enquanto em B foi de $14,45$ cm^3 , resultando em uma produtividade média diária total de $13,74$ cm^3 por litro de material abastecido. Sendo um valor acima do encontrado por Martins (2016) que foi de $9,95$ cm^3 por litro de matéria orgânica decantada da criação de tilápia do Nilo em sistema de recirculação água (SRA), e abaixo do encontrado por Machado *et al.*, (2013) que foi de $18,34$ cm^3 por litro de matéria orgânica decantada da criação de tilápia do Nilo em sistema aquapônico, ambos com metodologias similares à utilizada neste trabalho. Esse resultado pode ter sido influenciado pelos eventuais vazamentos que os sistemas apresentaram, diminuindo sua eficácia.

No último dia de leitura do gasômetro do biodigestor A, e nos dias 5 e 6 do gasômetro do biodigestor B, foram registrados vazamentos de gás (FIGURA 14). Com o clima ensolarado e conseqüentemente temperatura ambiente mais elevada, é esperado uma maior produção de biogás, já em dias nublados ou chuvosos, por conta da temperatura ambiente mais baixa, é esperado uma menor produção de biogás. Apenas no quinto dia de leitura, o clima esteve nublado, os outros dias estavam ensolarados, entretanto, mesmo com o vazamento no biodigestor B, é possível observar que apesar da temperatura ambiente estar mais baixa, a produção diária de biogás em A se manteve equilibrada. No quinto dia, um vazamento foi identificado no biodigestor B, resultando na menor produção e, apesar da tentativa de solução, se estendeu até o dia seguinte. O valor registrado no sétimo dia do biodigestor B foi o menor registrado (desconsiderando os dias de vazamento), isto está relacionado ao menor tempo de acúmulo de gás, visto que, no dia anterior, o vazamento havia sido solucionado somente após o horário de 11h00min, totalizando menos que 24 horas de volume acumulado.

Figura 14 – Comparação de produção diária de biogás entre os biodigestores



Fonte: autor (2023).

Relacionando os dados obtidos da produção de biogás, com o consumo total de ração, na unidade produtiva A, cada quilograma de ração consumida pelas tilápias do Nilo gerou 633,925 cm³ de biogás. Na unidade produtiva B, por outro lado, cada quilograma de ração gerou 494,576 cm³ de biogás. Totalizando uma capacidade de produção média de 562,515 ± 69,682 cm³ de biogás por dia por quilograma de ração consumida pelos peixes.

4.3 Custo de implantação dos biodigestores

Na Tabela 6, são demonstrados os custos de materiais utilizados para a implantação dos biodigestores presentes no experimento.

Tabela 3 – Orçamento dos principais materiais utilizados para construção dos biodigestores

Materiais utilizados	Quantidade	Valor unitário (R\$)	Valor total (R\$)
Contentor	2	30,00	60,00
Tubo 75 mm (m)	1	7,00	7,00
Cap 75 mm	2	7,00	14,00
Tubo 50 mm (m)	1	5,00	5,00
Tubo 25 mm (m)	1	3,00	3,00
Adaptador com flange 25 mm	2	6,50	13,00
Mangueira ½'' (m)	2	4,50	9,00
Registro para mangueira ½''	4	4,00	16,00
Joelho para mangueira ½''	6	2,00	12,00
Tê para mangueira ½''	2	2,00	4,00
Selantes	2	18,00	36,00
Braçadeiras de ½''	16	2,00	32,00
Registro de 20 mm	2	6,00	12,00
Total	-	-	223,00

Fonte: autor (2023).

O valor total para implantação do sistema experimental composto por dois biodigestores e dois gasômetros foi de R\$ 223,00. O custo mais elevado foi com a aquisição dos contentores que serviram como biodigestores, representando cerca de 26,91% do investimento total.

A implantação de biodigestores do modelo batelada para utilização em sistemas experimentais, pode ser considerada como bastante acessível.

5 CONCLUSÃO

A construção de biodigestores, apesar de ser relativamente acessível dependendo do modelo adotado, requer muito cuidado para que todas as conexões e o próprio biodigestor estejam bem vedados, garantindo a máxima eficácia para geração e armazenamento de biogás.

O sistema aquapônico do tipo NFT, que serviu para coleta de matéria orgânica, gera um volume pequeno de material decantado, dessa forma, a adoção de dois estágios de coleta (pré-decantação e decantação) para otimizar a coleta de um material mais concentrado, foi fundamental para os resultados obtidos.

A produção de biogás em ambos os biodigestores foi considerada satisfatória, entretanto, os vazamentos influenciaram negativamente nos dados obtidos, corroborando a importância da construção de um sistema bem vedado.

O consumo de ração dos peixes presentes no sistema aquapônico foi baixo, mesmo assim, a produção média de biogás por quilograma de ração consumida obtida pode servir para futuros dimensionamentos de sistemas que integrem o biogás na produção.

A adoção de biodigestores em sistemas de recirculação de água, onde a coleta do material orgânico decantado é relativamente fácil, se torna viável, podendo gerar mais duas fontes de renda para o produtor: a produção de biogás e biofertilizante.

REFERÊNCIAS

AMIGUN, B.; VON BLOTTNITZ, H. Capacity-cost and location-cost analyses for biogas plants in Africa. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 55, n. 1, p. 63-73, 2010.

ANEEL. 2008, **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 3 ed. Brasília, ANEEL, 2008.

ARTHUR, R.; BAIDOO, M.F.; ANTWI, E. Biogas as a potential renewable energy source: A Ghanaian case study. **Renewable energy**, v. 36, n. 5, p. 1510-1516, 2011.

BEN. 2022. **Balanco Energético Nacional 2021**: Ano base 2020. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro, p. 13, 2022.

BNDES. 2018. Biogás de resíduos agroindustriais: panorama e perspectivas. **BNDES Setorial** 47, p 221-276, 2018.

BRAZ FILHO, M. dos S.P. **Qualidade na produção de peixes em sistemas de recirculação de água**. 2000. Monografia (Especialização em Qualidade nas empresas) – Centro Universitário Nove de Julho, São Paulo, 2000.

CARDOSO, B.M.; DO NASCIMENTO, J.M. **Uso da biomassa como alternativa energética**. Monografia (Curso de Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, 2012.

CARNEIRO, P.C.F. *et al.* Produção integrada de peixes e vegetais em aquaponia. **Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros**. 27p, 2015.

CASSINI, S.T. *et al.* **Digestão anaeróbia de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento de biogás**. Vitória: PROSAB/FINEP, 2003.

COLDEBELLA, A. **Viabilidade do uso do biogás da bovinocultura e suinocultura para geração de energia elétrica e irrigação em propriedades rurais**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2006.

COSBEY, A. Trade, sustainable development and a green economy: Benefits, challenges and risks. **The transition to a Green Economy: Benefits, Challenges and Risks from a Sustainable Development Perspective**, p. 40, 2011.

DEGANUTTI, R. *et al.* Biodigestores rurais: modelo indiano, chinês e batelada. **Proceedings of the 4th Encontro de Energia no Meio Rural**, São Paulo, 2002.

EMBRAPA. 2021. **Chinês - Portal Embrapa**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/agroenergia/residuos/biogas/biodigestores/chines>. Acesso em: 20 mai. 2023.

EMBRAPA. 2021. **Indiano - Portal Embrapa**. Disponível em:

<<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/agroenergia/residuos/biogas/biodigestores/indiano>>. Acesso em: 20 mai. 2023.

FAO. 2014. Small-scale aquaponic food production. Integrated fish and plant farming. 288 p. Rome, Italy. 2014.

FAO. 2022. The State of World Fisheries and Aquaculture. Towards Blue Transformation. Rome, Italy. 2022.

FARIAS, R.M. de *et al.* Biodigestão anaeróbia de dejetos de poedeiras coletados após diferentes períodos de acúmulo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, 1089-1094, 2012.

GONÇALVES, G.L.F. **Biodigestores: Uma alternativa para reduzir a contaminação das águas pelo esgoto**. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Especialização em Atenção Básica em Saúde da Família) – Universidade Federal de Minas Gerais, 2012.

INOUE, K.R.A. **Produção de biogás, caracterização e aproveitamento agrícola do biofertilizante obtido na digestão da manipueira**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, 2008.

KUBITZA, F. Sistemas de Recirculação: Sistemas fechados com tratamento e reuso de água. **Panorama da Aquicultura**. v. 16, n. 95, p. 15-22, 2006.

KHALID, A. *et al.* 2011. The anaerobic digestion of solid organic waste. **Waste Management**, v. 31, p. 1737-1744, 2011.

LANSING, S. *et al.* Quantifying electricity generation and waste transformations in a low-cost, plug-flow anaerobic digestion system. **Ecological Engineering**, v. 34, n. 4, p. 332-348, 2008.

LINS, L.P.; MITO, J.Y.L.; FERNANDES, D.M. Composição média do biogás de diferentes tipos de biomassa. **SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS AGROPECUÁRIOS E AGROINDUSTRIAIS**, v. 4, 2015.

MACHADO, E. **Viabilidade da aquaponia urbana: pequenos espaços e a produção animal sustentável**. 2019. 36 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Zootecnia) - Departamento de Zootecnia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2019.

MACHADO, S.T. *et al.* Geração de biogás com dejetos provenientes da piscicultura. In: **INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION**. 2013.

MARTINS, V.P. **Produção de biogás utilizando resíduos de piscicultura intensiva com sistema de recirculação da água.** 2016. 31 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Grande Dourados, Mato Grosso do Sul, 2016.

PEIXE BR. 2023. Anuário Brasileiro da Piscicultura PEIXE BR 2023. **São Paulo: associação Brasileira de Piscicultura, 2023.**

QUEVEDO, H. **Avaliação dos modelos Hashimoto e AMS-III.D para produção de metano com dejetos suínos.** Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do ABC, 2011.

SILVA, A.A. **Viabilidade técnica e econômica da implantação da biodigestão anaeróbia e aplicação de biofertilizante nos atributos de solo e plantas.** 2009. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2009.

SIQUEIRA, T.V. Aquicultura: a nova fronteira para produção de alimentos de forma saudável. 2018. **R. BNDES.** Rio de Janeiro, v. 25, n. 49, p. 119-170

SOUZA, C.F.; LUCAS JÚNIOR, J. de.; 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. **Engenharia Agrícola**, v. 25, p. 530-539, 2005.

VAN RIJN, J. Waste treatment in recirculating aquaculture systems. **Aquacultural Engineering**, v. 53, p. 49-56, 2013.

XIMENES, J. *et al.* Valorisation of Agri-and Aquaculture Residues via Biogas Production for Enhanced Industrial Application. **Energies**, v. 1, n. 9, p. 2519, 2021.