



**INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE  
TECNOLOGIA, INFRAESTRUTURA E  
TERRITÓRIO (ILATIT)**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO  
INTERDISCIPLINAR EM ENERGIA E  
SUSTENTABILIDADE**

**ESTUDO SOBRE PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DOS DEJETOS DE UM  
MÓDULO DE AQUAPONIA E AUTOMAÇÃO DO BIODOGESTOR**

**ITAMAR PENA NIERADKA**

Foz do Iguaçu-PR

2023



**INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE TECNOLOGIA,  
INFRAESTRUTURA  
E TERRITÓRIO**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO  
INTERDISCIPLINAR EM ENERGIA E  
SUSTENTABILIDADE**

**ESTUDO SOBRE PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DOS DEJETOS DE UM  
MÓDULO DE AQUAPONIA E AUTOMAÇÃO DO BIODOGESTOR**

**ITAMAR PENA NIERADKA**

Tese de Doutorado apresentado ao Programa de Pós-Graduação Interdisciplinar em Energia e Sustentabilidade do Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito para a obtenção do título de Doutor em Energia e Sustentabilidade.

Orientador(a): Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> Andréia Cristina Furtado  
Co-orientador(a): Prof. Dr. Sidnei Klein

Foz do Iguaçu - PR  
2023

# ESTUDO SOBRE PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DOS DEJETOS DE UM MÓDULO DE AQUAPONIA E AUTOMAÇÃO DO BIODOGESTOR

Tese de Doutorado apresentado ao Programa de Pós-Graduação Interdisciplinar em Energia e Sustentabilidade do Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito para a obtenção do título de Doutor em Energia e Sustentabilidade.

## BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente  
 ANDREIA CRISTINA FURTADO  
Data: 12/09/2023 07:57:08-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Orientadora: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Andréia Cristina Furtado  
UNILA

Documento assinado digitalmente  
 LEONARDO DA SILVA ARRIECHE  
Data: 06/09/2023 09:16:40-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof Dr Leonardo da Silva Arrieche  
UNILA

Documento assinado digitalmente  
 CARLOS ROBERTO MENDONÇA DA ROCHA  
Data: 06/09/2023 09:41:51-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Dr Carlos Roberto Mendonça da Rocha  
UNIOESTE

Documento assinado digitalmente  
 BRUNO ESTEVAO DE SOUZA  
Data: 06/09/2023 13:01:10-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Dr. Bruno Estevão de Souza  
IFPR

Documento assinado digitalmente  
 EDUARDO CESAR DECHECHI  
Data: 06/09/2023 12:17:37-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Dr. Eduardo Cesar Dechechi  
UNIOESTE

Foz do Iguaçu, 24 de agosto de 2023.

À minha família

## **AGRADECIMENTOS**

Um projeto interdisciplinar não pode ser realizado apenas por uma pessoa. Muitos devem ser lembrados e agradecidos por toda ajuda e tempo cedidos para orientar, ensinar, apoiar e até mesmo “por a mão na massa”. Inicialmente o agradecimento vai à minha orientadora Professora Andreia Cristina Furtado por ter aceito a missão de orientar um leigo e ensinar muito sobre biogás. a Juliana Gaio Somer do CiBiogás que muito colaborou e me ensinou sobre cálculos de potencial de geração de biogás. Ao Charles Busarello que trabalhou neste projeto ajudando na construção do sistema de aquaponia, biodigestor e automação. Aos colegas professores do IFPR curso de Aquicultura, Bruno Estevão de Souza, Sidnei Klein (co-orientador) e também ao Técnico de laboratório Renan por ceder o laboratório de Aquicultura e a estufa de aquaponia para que este projeto pudesse ser realizado.

“as coisas difíceis são as mais formosas”

(platão)

NIERADKA, Itamar Pena. Estudo sobre produção de biogás a partir dos dejetos de um módulo de aquaponia e automação do biodigestor. 2023. 97 f. Tese (Doutorado em Energia e Sustentabilidade) – Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Foz do Iguaçu.

## RESUMO

No Instituto Federal do Paraná, campus Foz do Iguaçu, os cursos de Desenvolvimento de Sistemas e Aquicultura trabalham no projeto de automação da aquaponia, um sistema de cultivo de plantas integrado com a criação de peixes, com objetivo de reduzir a complexidade de gestão utilizando um sistema que permita acesso a informações úteis à tomada de decisão. A estrutura existente conta com um módulo de aquaponia com capacidade para 50 a 80 peixes tilápia e com produção de 40 pés de alface. O descarte dos dejetos provenientes da piscicultura é considerado fonte de poluição do ambiente. Dessa maneira, a geração de biogás a partir dos dejetos da produção de peixe, é uma alternativa sustentável à produção, bem como ecológica. Com a automação espera-se facilitar o acompanhamento da produção de biogás observando os valores referentes a temperatura, pressão e pH obtidos a partir de sensores instalados no biodigestor. Além da produção de biogás, este projeto visa colaborar com a preservação do meio ambiente e com o processo sustentável de produção de peixes e hortaliças, além de se tornar uma maneira ecológica para produção de energia. Além do descarte ecologicamente correto, um dos objetivos específicos deste projeto é de avaliar a possibilidade de autossustentação do sistema. Para esta avaliação foi necessário estimar a produção de biogás e calcular a demanda energética do sistema. A partir de análise dos resíduos, foi estimada uma produção de cerca de 0,08 a 0,09 Nm<sup>3</sup> de biogás por dia e a demanda energética do sistema composta por bomba d'água e modulo de automação é de 8,8kWh.

**Palavras-chave:** automação; aquaponia; biogás; piscicultura; hortaliças; energia.

NIERADKA, Itamar Peña. Estudio sobre producción de biogás a partir de residuos de un módulo de acuaponía y automatización del biodogester. 2023. 97 y siguientes. Tesis (Doctorado en Energía y Sostenibilidad) – Universidad Federal de Integración Latinoamericana, Foz do Iguaçu.

## RESUMEN

En el Instituto Federal de Paraná, campus Foz do Iguaçu, los cursos de Desarrollo de Sistemas y Acuicultura trabajan en el proyecto de automatización de la acuaponía, un sistema de cultivo de plantas integrado con la piscicultura, con el objetivo de reducir la complejidad de la gestión utilizando un sistema que permite el acceso a informaciones útiles para la toma de decisiones. La estructura existente tiene un módulo de acuaponía con capacidad para 50 a 80 tilapias y producción de 40 pies de lechuga. La disposición de los desechos de la piscicultura se considera una fuente de contaminación ambiental. De esta forma, la generación de biogás a partir de residuos de la producción pesquera es una alternativa sostenible a la producción, además de ecológica. Con la automatización se espera facilitar el monitoreo de la producción de biogás al observar los valores referentes a temperatura, presión y pH obtenidos de sensores instalados en el biodigestor. Además de producir biogás, este proyecto pretende colaborar con la preservación del medio ambiente y con el proceso sostenible de producción de pescado y verduras, además de convertirse en una forma ecológica de producir energía. Además de la disposición ecológicamente correcta, uno de los objetivos específicos de este proyecto es evaluar la posibilidad de autosostenibilidad del sistema. Para esta evaluación fue necesario estimar la producción de biogás y calcular la demanda energética del sistema. Con base en el análisis de residuos, se estimó una producción de alrededor de 0,08 a 0,09 Nm<sup>3</sup> de biogás por día y la demanda de energía del sistema, que consta de una bomba de agua y un módulo de automatización, es de 8,8kWh.

**Palabras clave:** automatización; biogás; piscicultura; vegetales; energía.

NIERADKA, Itamar Pena. Study on biogas production from waste from an aquaponics module and automation of the biodigester. 2023. 97 f. Thesis (Doctorate in Energy and Sustainability) – Federal University of Latin American Integration, Foz do Iguaçu.

## **ABSTRACT**

At the Federal Institute of Paraná, Foz do Iguaçu campus, the Systems Development and Aquaculture courses work on the aquaponics automation project, a plant cultivation system integrated with fish farming, with the aim of reducing management complexity using a system that allows access to useful information for decision making. The existing structure has an aquaponics module with capacity for 50 to 80 tilapia fish and production of 40 feet of lettuce. The disposal of waste from fish farming is considered a source of environmental pollution. In this way, the generation of biogas from fish production waste is a sustainable alternative to production, as well as an ecological one. With automation it is expected to facilitate the monitoring of biogas production by observing the values referring to temperature, pressure and pH obtained from sensors installed in the biodigester. In addition to producing biogas, this project aims to collaborate with the preservation of the environment and with the sustainable process of producing fish and vegetables, in addition to becoming an ecological way to produce energy. In addition to ecologically correct disposal, one of the specific objectives of this project is to assess the possibility of self-sustainability of the system. For this evaluation it was necessary to estimate the production of biogas and calculate the energy demand of the system. Based on waste analysis, a production of around 0.08 to 0.09 Nm<sup>3</sup> of biogas per day was estimated and the energy demand of the system, consisting of a water pump and automation module, is 8.8kWh.

**Key words:** automation; aquaponics; biogas; pisciculture; vegetables; energy.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Produção de peixes de cultivo no Brasil.....	18
Figura 2: Sistema de Aquaponia.....	19
Figura 3: Etapas da produção de biogás.....	20
Figura 4: Biodigestor modelo batelada.....	23
Figura 5: Biodigestor modelo indiano.....	23
Figura 6: Biodigestor modelo chinês.....	24
Figura 7: Biodigestor modelo canadense.....	24
Figura 8: Instituto Federal do Paraná, Campus Foz do Igauçu.....	26
Figura 9: Sistema de aquaponia com decantados e biodigestor.....	27
Figura 10: Incubadoras para coleta de fezes.....	28
Figura 11: Coleta e armazenamento das fezes.....	28
Figura 12: Sequência de incubação dos reatores PBM.....	33
Figura 13: Remoção de gás do biodigestor.....	34
Figura 14: Biodigestor.....	34
Figura 15: Esquema do biodigestor construído.....	35
Figura 16: Calibração do sensor de pH Arduino + Módulo de Leitura (haste).....	38
Figura 17: Esquema de ligação do sensor de pH Arduino.....	39
Figura 18: Sensor de Pressão Barométrico BMP180.....	39
Figura 19: Esquema de ligação do sensor BMP180.....	40
Figura 20: Sensor de Gás MQ-2 Monóxido de Carbono.....	40
Figura 21: Esquema de ligação do sensor MQ-2.....	41
Figura 22: Pinos do Arduino Mega 2560.....	42
Figura 23: Fluxograma da automação do biodigestor.....	46
Figura 24: Sistema de Automação.....	46
Figura 25: Totem de coleta e apresentação de dados.....	47
Figura 26: Tela inicial e relatório de pressão do aplicativo de monitoramento.....	47
Figura 27: Produção de biogás a partir de inóculo.....	55
Figura 28: Produção de biogás para dejetos de peixes.....	56
Figura 29: Produção de biogás para dejetos de peixes + Inóculo.....	57

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Comparativo do Poder Calorífico do biogás com outros gases.....	21
Tabela 2: Relação comparativa de 1m <sup>3</sup> de biogás com combustíveis usuais.....	21
Tabela 3: Definição das amostras para o estudo.....	32
Tabela 4: Proporção de água e dejetos para alimentação do biodigestor.....	35
Tabela 5: Parâmetros para controle do biodigestor.....	38
Tabela 6: Pinagens de alimentação do Arduíno.....	43
Tabela 7: Pinos do Arduíno Mega com funções especializadas.....	44
Tabela 8: Estimativa de dejetos diário por peixe.....	50
Tabela 9: Caracterização da amostra de dejetos de peixe.....	51
Tabela 10: Resultado da análise laboratorial dos dejetos de suínos e bovinos.....	52
Tabela 11: Caracterização do digestato.....	52
Tabela 12: Estimativa de produção de biogás a partir de diferentes resíduos.....	53
Tabela 13: Comparação entre produção de biogás a partir de dejetos de peixe.....	54
Tabela 14: Comparação de produção técnica T90 entre diferentes tipos de dejetos.....	56
Tabela 15: Cromatografia a gás.....	56
Tabela 16: Percentuais para biogás de suínos utilizados padrão.....	57
Tabela 17: Resumo dos dados de pressão dos diferentes substratos.....	58
Tabela 18: Resultados do Teste estatístico ANOVA para os diferentes substratos.....	59

## LISTA DE ABREVIATURAS

CNTP	Condições normais de temperatura e pressão
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
I2C	<i>Inter-Integrated Circuit</i> . Protocolo que descreve o funcionamento de um barramento de comunicação serial que utiliza apenas dois fios
ICSP	<i>In Circuit Serial Programming</i> . Método de gravação de dispositivos programáveis
LED	<i>light-emitting diode</i> . Diodo emissor de luz
MISO	<i>Master Input Slave Output</i> . Indica a orientação da comunicação
MOSI	<i>Master Output Slave Input</i> . Indica a orientação da comunicação
pH	Potencial Hidrogeniônico
PPM	Parte por milhão
PWM	<i>Pulse With Modulation</i> . Técnica de modulação utilizada para simular uma tensão estática variável
Rx	Receptor de comunicação
SCK	<i>Serial clock</i> . Pino serial para sincronização de clock
SCL	<i>Serial Clock</i> . Sincronia para dados seriais
SDA	<i>Serial Data</i> . Dados de comunicação Serial
SPI	<i>Serial Peripheral Interface</i> . Comunicação do microcontrolador com outros componentes
SS	<i>Slave Select</i> . Seleciona o receptor
TRH	Tempo de Retenção Hidráulica
TTL	<i>Transistor-Transistor Logic</i> . Uma família de circuitos digitais
TWI	<i>Two – Wire Interface</i> . Comunicação com dois fios
Tx	Transmissor de comunicação
UART	<i>Universal Asynchronous Receiver Transmitter</i> . Principal componente de comunicação serial
USB	<i>Universal Serial Bus</i> . Porta de comunicação serial

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>15</b>
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>17</b>
2.1. AGROPECUÁRIA.....	17
2.2. AQUAPONIA.....	18
2.3. BIODIGESTÃO ANAERÓBIA.....	19
2.3.1. Biogás.....	20
2.3.2. Biodigestores.....	21
<b>3. OBJETIVOS.....</b>	<b>25</b>
3.1. OBJETIVO GERAL.....	25
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	25
<b>4. METODOLOGIA.....</b>	<b>26</b>
4.1. LOCAL DO ESTUDO.....	26
4.2. AQUAPONIA E PRODUÇÃO DE BIOGÁS.....	26
4.3. ANÁLISE DOS DEJETOS.....	27
4.3.1. Quantificação Da Disponibilidade De Dejetos.....	27
4.3.2. Caracterização Do Dejeto (RIBEIRO, 2010).....	29
4.4. AVALIAÇÃO DO POTENCIAL METANOGENICO DOS RESÍDUO DA AQUAPONA.....	30
4.4.1. Resíduos Da Aquaponia.....	31
4.4.2. Inóculo.....	31
4.4.3. Preparo Das Amostras.....	31
4.4.4. Ensaio De Produção Bioquímica De Metano – PBM.....	31
4.4.5. Produção De Biogás.....	33
4.5. ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	34
4.6. MONTAGEM E AUTOMAÇÃO DO BIODIGESTOR.....	34
4.6.1. Biodigestor E Gasômetro.....	34
4.6.2. Sensor De PH, Modelo 4502c.....	37
4.6.3. Sensor De Temperatura E Pressão BMP180.....	39
4.6.4. Sensor De Gás MQ-2.....	40
4.6.5. Arduino Mega 2560 R3.....	41
4.6.6. Sistemas Computacionais Responsivos.....	43

4.6.7. Monitoramento Automatizado.....	45
4.6.8. Aplicativo Para Monitoramento – IoT – Biogás.....	45
4.7. DEMANDA ENERGÉTICA.....	48
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>50</b>
5.1. QUANTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO DE DEJETOS.....	50
5.2. CARACTERIZAÇÃO.....	50
5.2.1. Dejetos.....	50
5.2.2. Digestato.....	51
5.3. ESTIMATIVA DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS.....	52
5.4. ENSAIOS DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS.....	54
5.4.1. Caracterização Do Biogás.....	56
5.5. PRODUÇÃO DE BIOGÁS NO SISTEMA DE AQUAPONIA.....	57
5.6. ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	58
5.7. DEMANDA ENERGÉTICA.....	59
<b>6. CONCLUSÃO.....</b>	<b>62</b>
6.1. SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS.....	63
<b>7. REFERÊNCIAS.....</b>	<b>64</b>
<b>8. ANEXOS 1.....</b>	<b>70</b>
<b>9. ANEXO 2.....</b>	<b>75</b>
9.1. PÁGINA INDEX.PHP.....	75
9.2. CÓDIGO PARA MANIPULAÇÃO DE DADOS NO BANCO DE DADOS.....	77
9.3. CONEXÃO COM BANCO DE DADOS.....	80
9.4. SCRIPT PARA TIMER DE INSERÇÃO DE DADOS EM BANCO DE DADOS.....	80
9.5. FOLHA DE ESTILOS.....	81
<b>1. APÊNDICE 1 – CÁLCULOS PARA DIMENSIONAMENTO DO BIODIGESTOR E PROPORÇÃO DE DEJETO E ÁGUA.....</b>	<b>84</b>
<b>2. APÊNDICE 2 – LEITURAS DE VOLUME (ML) E PRESSÃO (KPA) PARA O ENSAIO BIOQUÍMICOS.....</b>	<b>85</b>

## 1. INTRODUÇÃO

As cadeias de produção agropecuárias têm se tornado, ao longo dos anos, mais importantes e desafiadoras devido a mudanças no sistema de produção, aumento da escala e intensificação da produção. Dessa forma, são necessárias estratégias para a sustentabilidade dos sistemas produtivos (KUNZ, 2019).

A indústria de carne gera uma grande quantidade de resíduo animal, tais resíduos necessitam de um destino ecologicamente correto devido ao seu alto potencial poluidor. Uma das alternativas é a biodigestão anaeróbia, uma tecnologia eficiente no tratamento de resíduos reduzindo a carga orgânica além de produzir biogás.

O biogás pode ser obtido a partir de vísceras, carcaças e fezes de animais como bovinos, suínos, aves e peixes, sendo os dejetos destes últimos objeto de estudo neste trabalho.

A piscicultura é uma atividade em ascensão no Brasil e uma das razões é a mudança de hábitos alimentares da população que busca consumir alimentos de melhor qualidade nutricional. Esse setor experimentou um crescimento de 5% em 2021, com 841,005 toneladas de peixes produzidos (REVISTA OESTE, 2022).

O aumento da produção vem acompanhado do aumento na quantidade de resíduos provenientes desse setor produtivo. Uma solução para os resíduos provenientes da piscicultura é a aquaponia, uma técnica que integra a piscicultura (criação de peixes) com a hidroponia (cultivo de vegetais sem a presença de solo), esta uma prática de cultura de hortaliças.

As unidades da piscicultura e hidroponia são fisicamente separadas, mas se conectam por um sistema de recirculação de água, promovida por bombeamento. Em um sistema convencional de aquaponia os dejetos são retirados das unidades piscícolas para serem utilizados nas unidades hidropônicas como nutrientes. Neste projeto os dejetos são retidos em um decantador que alimenta o biodigestor e após o término do processo de digestão anaeróbia o resíduo, agora biofertilizante, é misturado com a água que irriga as plantas. O sistema integrado proporciona benefícios para ambos os sistemas, com economia de 90% no consumo de água (LIMA et al., 2021)

Este sistema é um exemplo de bom uso dos dejetos dos peixes, uma vez que estes são considerados fontes de poluição do ambiente. Dessa maneira, a geração de biogás a partir dos dejetos da produção de peixe em sistema intensivo, é uma alternativa

ecologicamente correta (FILHO, 2005).

A busca por processos produtivos autossustentáveis, como por exemplo, um sistema de aquaponia que integra um sistema de digestão anaeróbia para degradação dos dejetos da piscicultura e produção do biogás, que pode ser empregado na geração de energia elétrica para manter o funcionamento deste sistema, é de interesse em diversos campos da sociedade governamental, empresarial, acadêmica e científica, com base no conceito de redução de custo de produção, da poluição atmosférica, geração de empregos, entre outros.

Nesse contexto, a geração de biogás é uma alternativa sustentável, considerando os benefícios ao meio ambiente, econômico, entre outros (BANERJEE, 2021).

A principal vantagem desta tecnologia 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, 2011).

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. AGROPECUÁRIA

Projetos agropecuários devem ser planejados prevendo ações para a implantação de uma atividade produtiva em propriedades rurais. Devem ser considerados o investimento e a expectativa de retorno econômico (SILVA, 2018).

De acordo com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA, a ciência agropecuária subsidiou políticas públicas e contribuiu para que o setor privado investisse em qualidade, sanidade, rastreabilidade, bem-estar animal e segurança. Por consequência disso o Brasil deixou de importar carne para se tornar um dos maiores exportadores de proteína animal do mundo.

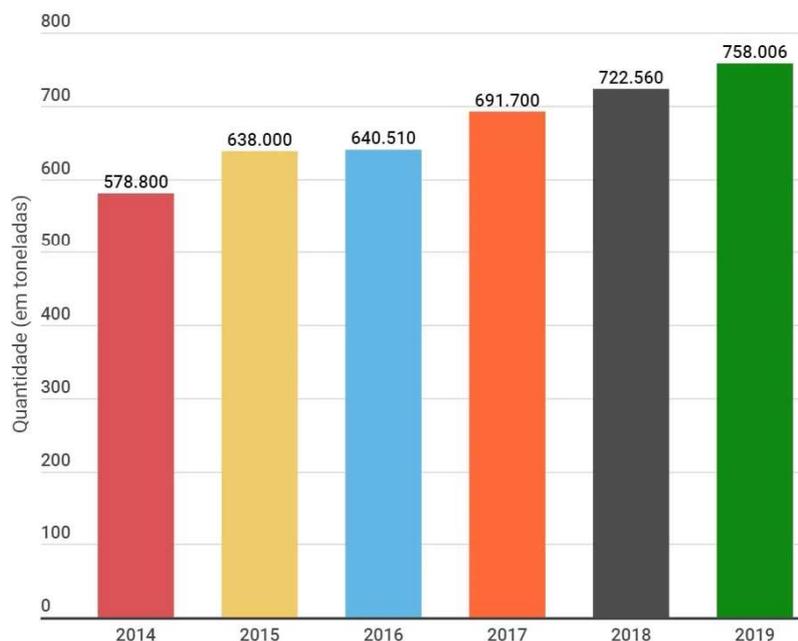
Segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), a produção agropecuária de 2021 atingiu 1.129 trilhão de reais, o que representa um crescimento de 10,1% em relação ao ano anterior. Deste valor R\$ 150,9 bilhões são referentes a carne bovina e R\$108,9 bilhões a carne de frango (MAPA, 2022).

Incluída na cadeia produtiva pecuária brasileira está a piscicultura que no Brasil ocupa o 13º lugar mundial, com a produção de peixes em cativeiro (EMBRAPA, 2020).

A produção de peixes de cultivo vem crescendo no Brasil com um salto de 31% de 2014 a 2019, atingindo 758.006 toneladas em 2019 (Figura 1), sendo que os peixes nativos representam 38% dessa produção. Junto ao crescimento na produção, a exportação de produtos da piscicultura no país também tem aumentado, e de 2015 a 2019 passou de 701 para 6.543 toneladas representando um crescimento de 833%. Os peixes de cultivo e seus derivados são exportados principalmente para o Japão, China e Estados Unidos (PEIXE BR, 2020).

Devido ao aumento na produção de peixes, os dejetos sólidos se tornaram um problema ecológico, por essa razão a busca por soluções ecologicamente corretas para tratamento de efluentes e água está cada vez mais em evidência. Dentre estas soluções uma que vem ganhando espaço no ramo da agropecuária é a aquaponia (AQUACULTURE BRASIL, 2016).

Figura 1: Produção de peixes de cultivo no Brasil



Fonte: PeixeBr, Anuário 2020

## 2.2. AQUAPONIA

Aquaponia é um consórcio entre a piscicultura (cultivo de peixes) e a hidroponia (cultivos de plantas sem o uso de solo, com as raízes submersas na água) (ALFARO, 2013), sendo considerado como um sistema fechado de recirculação de água.

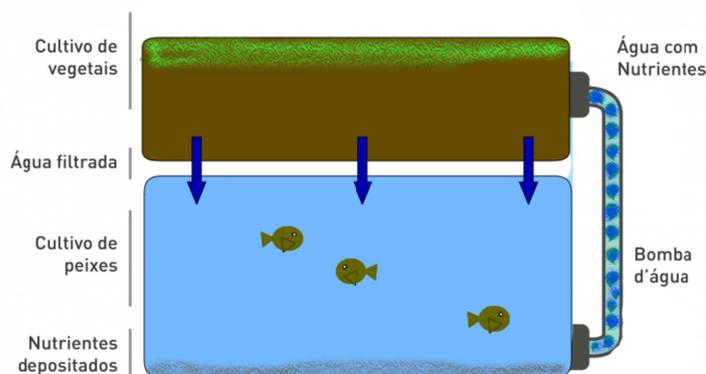
O termo aquaponia foi inventado entre os séculos 11 e 12 pelo povo Asteca que habitavam o atual México Central. As denominadas Chinampas, são ilhas flutuantes usadas para cultivo, que os Astecas criavam usando arbustos. Esta técnica permite a transformação de pântanos improdutivos em áreas agricultáveis com alta produção (ALFARO, 2013).

O sistema aquapônico é integrado mediante tubulações e promovida a recirculação da água através de um sistema de recalque. Os resíduos gerados na criação de peixes são transferidos para o sistema de cultivo de plantas que se beneficia com os nutrientes orgânicos, retornando a água para o tanque de peixes com melhor qualidade (Figura 2).

Os resíduos acumulados na água como fezes, urina e ração são oxidados por bactérias Nitrosômonas em nitritos e depois bactérias Nitrospira e Nitrobacter oxidam o nitrito para nitratos, os quais são utilizados pelas plantas como nutrientes. O principal composto nitrogenado excretado pelos peixes é a amônia ( $\text{NH}_3$ ), sendo tóxico assim como

o nitrito( $\text{NO}_2$ ), já o nitrato( $\text{NO}_3$ ) apresenta baixa toxicidade. A água é então recirculada de volta ao sistema de aquicultura (CARNEIRO, 2016).

Figura 2: Sistema de Aquaponia



Fonte: Autor, 2023

A aquaponia apresenta-se como um sistema de produção de peixes “Super Intensivo com Recirculação de Água” (SIRA) (HUNDLEY, 2013). Esta técnica economiza até 90% de água em relação à agricultura convencional, evita emissões de efluentes e espécies exóticas em corpos hídricos, e promove o reuso integral da água residuária produzida(CARNEIRO, 2016).

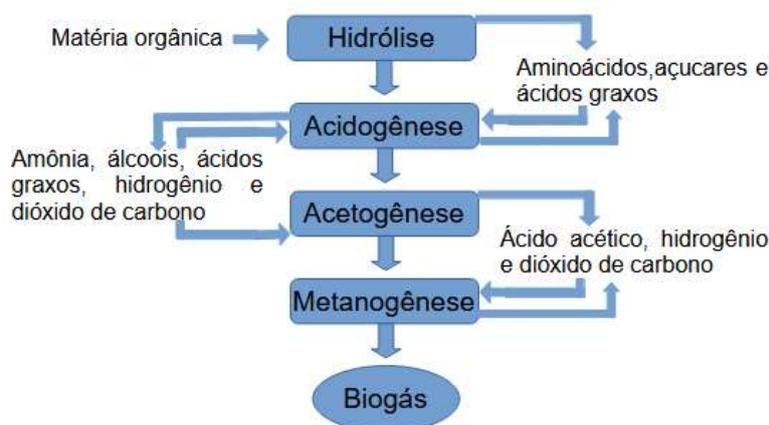
### 2.3. BIODIGESTÃO ANAERÓBIA

A digestão anaeróbia é um processo metabólico complexo que requer condições anaeróbias, isto é, ausência de oxigênio, e depende da atividade conjunta de microrganismos para transformar material orgânico em dióxido de carbono e metano. O processo de digestão é dividido em quatro fases, sendo: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese (Figura 3). Cada etapa é realizada por diferentes grupos de microrganismos, em sintrofia, e podem requerer diferentes condições (KUNZ, 2019).

Na hidrólise os compostos de alta massa molecular como os lipídios são degradados em polissacarídeos e proteínas, substâncias orgânicas mais simples (monômeros) e solúveis. Esse processo ocorre pela ação de enzimas extracelulares excretadas pelas bactérias hidrolíticas.

Na acidogênese os monômeros formados na fase hidrolítica são utilizados como substratos por diferentes bactérias anaeróbias e facultativas, sendo degradados na fase acidogênica a ácidos orgânicos de cadeia curta, moléculas com 1 a 5 átomos de carbonos.

Figura 3: Etapas da produção de biogás



Fonte : Adaptado de (FONSECA, 2009)

A acetogênese é considerada crítica ao processo, sendo conduzida por um grupo de bactérias denominadas acetogênicas que estabelecem relação de simbiose com as arqueas metanogênicas (seres anaeróbios obrigatórios que liberam gás metano) e as bactérias homoacetogênicas. Nessa etapa os ácidos de cadeia longa são transformados em ácidos com apenas um ou dois átomos de carbono.

A metanogênese ocorre em condições estritamente anaeróbias. Deste modo, o carbono contido na biomassa é convertido em dióxido de carbono e metano por meio da ação das arqueas metanogênicas.

O processo de digestão anaeróbia pode ser influenciado por diversos fatores, como: pH, temperatura, umidade, substrato, nitrogênio, tempo de retenção e tipo de reator químico (INOUE, 2008).

Segundo, Fonseca (2009), a tecnologia de biodigestão anaeróbia, facilita a transformação de materiais orgânicos em metano e dióxido de carbono, dentre outros produtos. Normalmente, este processo é conduzido em reatores fechados, em condições de temperatura, umidade e acidez que favorecem a ação dos microrganismos envolvidos no processo.

### 2.3.1. Biogás

O biogás é uma mistura de gases obtidos a partir da biodigestão anaeróbia. Em sua composição estão o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e o metano ( $\text{CH}_4$ ), e em quantidade menor, hidrogênio ( $\text{H}_2$ ), amônia ( $\text{NH}_3$ ), ácido sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ) e outros gases. É possível

gerar biogás praticamente a partir de todos os resíduos orgânicos tornando assim uma solução importante para o equilíbrio ambiental do planeta (PORTAL DO BIOGÁS, 2020).

O biogás produzido pode ser usado como energia térmica substituindo a lenha, o diesel ou outro combustível fóssil, como energia mecânica para bombeamento de água, para a geração de energia elétrica pela queima em grupos moto-geradores ou turbinas e ainda para a produção de biometano, que pode ser utilizado em veículos automotores (BIASI et al, 2018).

É possível comparar o poder calorífico do biogás com outros gases (Tabela 1), e também apresentar uma relação comparativa do biogás com outros combustíveis usuais, em termos de equivalência de 1m<sup>3</sup> desse biocombustível, mostrado na Tabela 2.

Tabela 1: Comparativo do Poder Calorífico do biogás com outros gases

<b>Gás</b>	<b>Poder Calorífico (kcal/Nm<sup>3</sup>)</b>
Biogás	5500
Butano	28000
Gás de Cozinha (GLP)	25775
Gás natural	7600
Metano	8500
Propano	22000

Fonte : Cribari (2004)

Tabela 2: Relação comparativa de 1m<sup>3</sup> de biogás com combustíveis usuais

<b>Gasolina</b>	<b>Gasóleo</b>	<b>Biodiesel</b>	<b>GLP</b>	<b>Eletricidade</b>	<b>Lenha</b>
0,61 L	0,7 L	0,55 L	0,45 kg	6,9 kWh	1,538 kg

Fonte: Lima (2012)

### 2.3.2. Biodigestores

O biodigestor é um tipo de reator onde resíduos orgânicos são degradados biologicamente, na ausência de oxigênio, em um processo conhecido como digestão anaeróbia (FURTADO et al., 2020). Segundo Kunz (2019), o biodigestor é ponto central de um sistema de tratamento anaeróbio.

Biodigestores de baixo custo estão 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).

De acordo com o Ministério do Meio Ambiente, o Plano Nacional de Resíduos Sólidos do Brasil define um biodigestor das seguintes maneiras:

- Biodigestor como fábrica de biofertilizantes
- Biodigestor como unidade de geração de energia
- Biodigestor como usina de tratamento de resíduos

A ideia da biodigestão anaeróbia é extremamente simples. Basta colocar qualquer matéria orgânica como restos de alimento, dejetos animais ou humanos, resíduos agrícolas ou mesmo plantas energéticas em um biodigestor e o processo de degradação da matéria orgânica começa naturalmente. Essa facilidade de compreensão do processo deu origem a inúmeros projetos de biodigestores pelo mundo com diferentes tipos de tecnologia. O uso de tecnologias para tornar o processo de geração de biogás mais eficiente, ou seja, maior quantidade de gás gerado a partir da matéria orgânica escolhida, ampliou o uso de biodigestores significativamente.

Os biodigestores podem ser contínuos ou descontínuos. O modelo contínuo é alimentado sucessivamente por meio de dutos de alimentação, enquanto no modelo descontínuo a alimentação da biomassa ocorre uma vez a cada ciclo (FONSECA, 2009). Neste trabalho o modelo utilizado é o batelada que opera de forma descontínua. Este modelo foi adotado devido à quantidade de resíduos disponíveis não ser suficiente para que o modelo contínuo fosse adotado. Os biodigestores batelada (Figura 4) são alimentados de uma só vez, com grande quantidade de matéria orgânica e, depois são fechados hermeticamente, por um certo período .

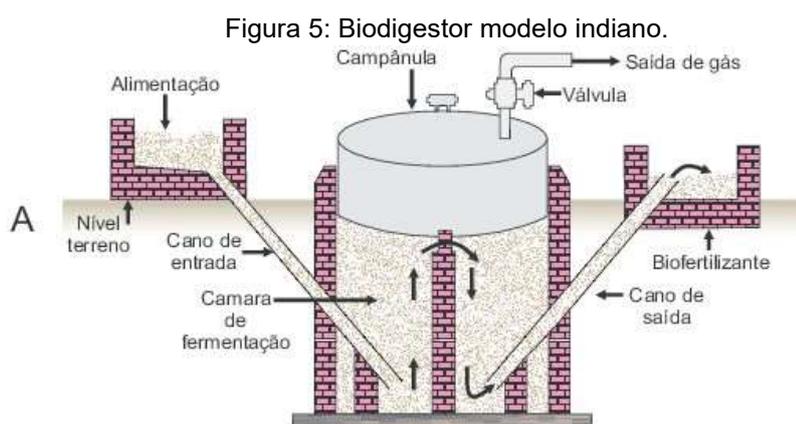
Com o passar do tempo, a produção de biogás começa a cair, indicando a decomposição da matéria orgânica. De acordo com Soethe (2014), terminado o período de retenção hidráulica, é possível retirar cerca de 80 % da matéria restante (biofertilizante) , mantendo 20 % para fornecer as bactérias necessárias para a decomposição da nova matéria orgânica, colocada na próxima batelada.

Figura 4: Biodigestor modelo batelada



Fonte: DEGANUTTI et. al. (2002)

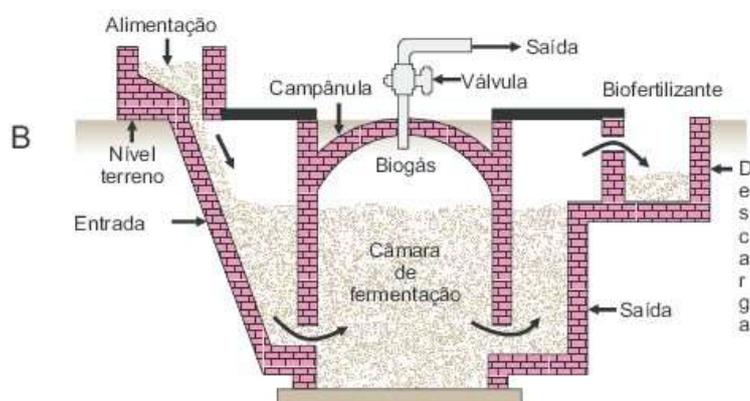
Dentre os biodigestores contínuos, os principais são o modelo Indiano, Chinês e o Canadense. O Indiano (Figura 5) apresenta uma campânula móvel, uma espécie de redoma, como medidor de gás. Ela pode estar mergulhada na biomassa ou em um selo d'água externo. Além disso, é responsável pela manutenção da pressão interna do sistema: expande quando não se consome o biogás produzido. Este modelo é dividido por uma parede interna em duas câmaras que permite a movimentação do substrato por todo o biodigestor.



Fonte: FONSECA et al, 2009

O modelo Chinês (Figura 6) tem seu funcionamento com base na prensa hidráulica o que faz a pressão interna mudar com frequência, por essa razão, com o aumento da pressão o material é deslocado da câmara de fermentação para a saída.

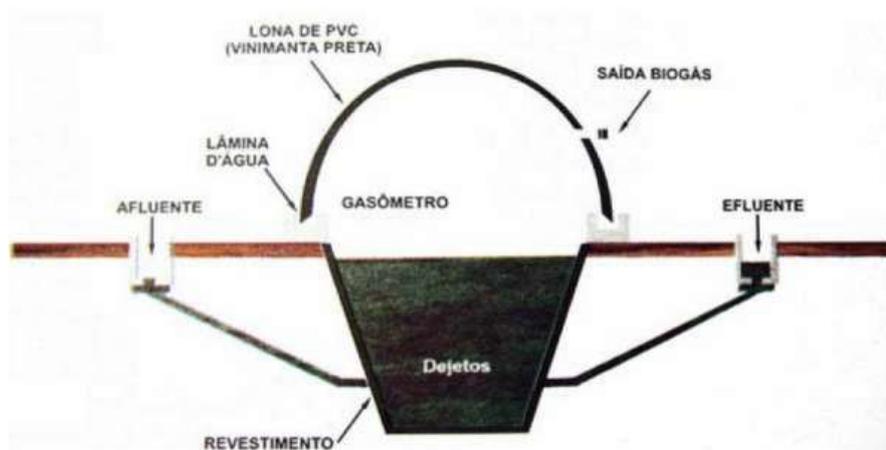
Figura 6: Biodigestor modelo chinês.



Fonte: FONSECA et al, 2009

Por fim, o modelo Canadense (Figura 7), possui uma caixa larga de alvenaria em uma profundidade não muito grande, o que permite maior exposição ao sol e com isso aumenta a troca térmica, aumentando a produção do biogás e com a melhor diluição do substrato reduz o risco de entupimento.

Figura 7: Biodigestor modelo canadense.



Fonte Kunz., 2019

### 3. OBJETIVOS

#### 3.1. OBJETIVO GERAL

Avaliar se a produção de biogás a partir da digestão anaeróbia de dejetos provenientes da criação de peixes em um módulo de aquaponia atende as demandas energéticas deste módulo.

#### 3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Quantificar a geração de resíduos no sistema;
- Determinar o potencial de produção de metano a partir dos resíduos do sistema de aquaponia;
- Construir módulo de aquaponia para pesquisa;
- Construir um sistema de decantação para os dejetos;
- Desenvolver um biodigestor automatizado para produção de biogás;
- Calcular a demanda energética do sistema;
- Analisar se o biogás produzido atende as demandas energéticas do módulo de aquaponia.

## 4. METODOLOGIA

### 4.1. LOCAL DO ESTUDO

O estudo foi realizado no Campus do Instituto Federal do Paraná (IFPR) de Foz do Iguaçu, situado na Avenida Araucária, 780, conjunto habitacional A (Figura 8).

Figura 8: Intituto Federal do Paraná, Campus Foz do Igauçu



Fonte: Google

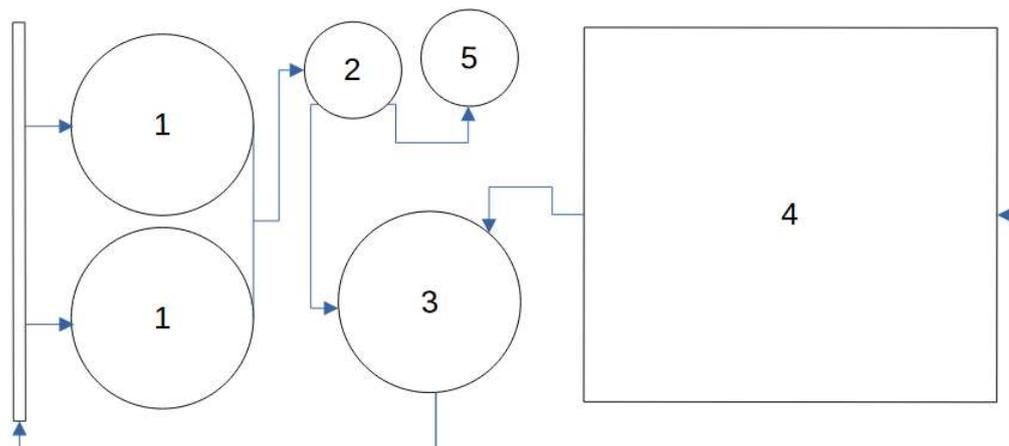
### 4.2. AQUAPONIA E PRODUÇÃO DE BIOGÁS

O sistema composto pelo módulo de aquaponia, decantador para coleta dos dejetos e biodigestor é mostrado na Figura 9. Os tanques de peixes com capacidade para 500L (1) comportam cerca de 20 peixes cada. O decantador (2) recebe água e dejetos dos tanques de peixes e acumula para posterior descarga no biodigestor (5). O tanque para armazenar água (3) recebe a água da superfície do decantador e envia, com uso de uma bomba d'água, para as plantas (4), com reciclo ao tanque de peixes para oxigenação.

O tanque de armazenamento de água também possui biofiltro usando argila expandida. A argila expandida absorve a amônia em sua estrutura além de poder absorver também fosfatos e até alguns compostos orgânicos (SHAFIRIFNIA, 2016).

O filtro biológico ou biofiltro é de suma importância para a saúde de todo o sistema, pois é nele que bactérias nitrificadoras transformam a amônia produzida pelos peixes no nitrato que vai ser absorvido pelas plantas na instalação subsequente, o filtro biológico também é a última etapa da água que chega até a área de cultivo das plantas (SILVA, 2017).

Figura 9: Sistema de aquaponia com decantados e biodigestor



Fonte: Autor, 2022

O biodigestor recebe os dejetos do decantador, após a produção de gás, o lodo restante é misturado com a água no tanque de armazenamento de água para que seja usado como biofertilizante para as plantas. A cama de plantas construída com tubos de PVC (Policloreto de polivinila) mantém a água em circulação devolvendo-a para o mesmo recipiente.

O sistema, com exceção do biodigestor, possui fluxo contínuo de água. O biodigestor é um modelo batelada, que é alimentado periodicamente com os dejetos acumulados no decantador.

O sistema foi construído em um período do ano em que a criação de peixes não é viável devido à baixa temperatura. Assim, a produção de biogás foi estimada com base na literatura e pesquisas correlatas, para posterior comparação com o biogás produzido. A estimativa foi realizada inicialmente com a coleta e posterior caracterização dos dejetos, também foi realizada a Demanda Química por Oxigênio – DQO do mesmo dejetos. Com estes dados foi possível estimar a produção de biogás, o volume e abastecimento do biodigestor e a quantidade de dias necessários para acumular a quantidade de dejetos necessária.

### 4.3. ANÁLISE DOS DEJETOS

#### 4.3.1. Quantificação da disponibilidade de dejetos

Para quantificar a produção diária de dejetos, foi avaliada a digestibilidade dos peixes da espécie tilápias do Nilo (*Oreochromis Niloticus*), com um peso médio de 120 g. Em cada unidade experimental com volume de 60L foram colocados seis peixes. Foram

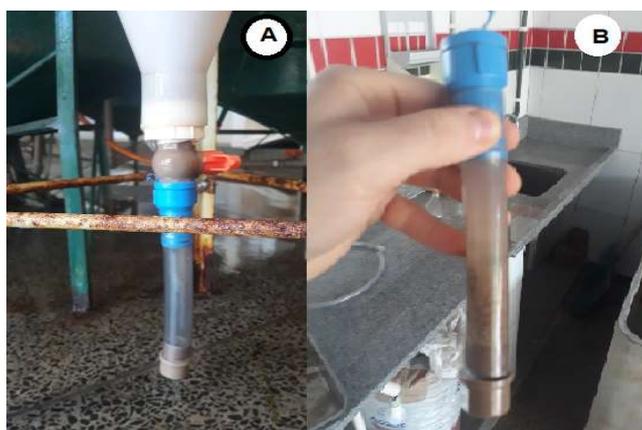
utilizadas quatro unidades, com aeração constante mediante sistema de soprador (Figura 10). O arraçoamento foi realizado duas vezes ao dia, pela manhã, por volta das 9 horas, e no final do dia, por volta das 17 horas. Ao final do último arraçoamento era promovida a limpeza da unidade, com renovação da água e consequente retirada de todos os resíduos. Antes do arraçoamento da manhã foram realizadas as coletas das fezes que haviam decantado nos coletores (Figuras 11a e 11b), os dejetos foram pesados, colocados em uma bandeja e posteriormente congelados.

Figura 10: Incubadoras para coleta de fezes.



Fonte: Autor, 2022

Figura 11: Coleta e armazenamento das fezes.



Fonte: Autor, 2022

As incubadoras eram limpas diariamente, ao final do dia, retirando sobras de ração não consumidas que se acumulavam na superfície da água, além de uma descarga pela parte inferior, visando garantir a coleta de dejetos isentos de outros resíduos. Após a limpeza, a ração era então disponibilizada por um período de 30 min, em uma quantidade que, segundo Ribeiro (2010), deve ser de 2% da biomassa, ou seja, volume de peixes.

#### 4.3.2. Caracterização do dejetto

Para a quantificação do teor de umidade, sólidos voláteis, sólidos totais e sólidos fixos, foi empregada a metodologia descrita em Junior (2019). Os testes foram realizados em triplicata. Aproximadamente 2g de dejetto foram colocados em cadinhos de porcelana previamente secos e mantidos em estufa de esterilização e secagem com renovação de ar forçada (FCD-6000) por 24h a 105°C. Após esse período, os cadinhos foram colocados em dessecador até atingirem temperatura ambiente e então pesados em balança analítica (WEBLABOR – M254Ai).

Os sólidos representam toda a matéria presente no dejetto, que não seja água. Os sólidos voláteis compreendem o material carbonáceo que é degradado e transformado em biogás (MACHADO et al., 2013).

Para avaliar o teor de sólidos totais (ST) e de teor de umidade (W) foram empregadas as equações 1 e 2, respectivamente.

As amostras secas foram calcinadas em forno mufla digital (NOVUS – N1030), a 550°C, por duas horas. Após este período, foram colocadas em dessecador. Na temperatura ambiente, as amostras foram pesadas em balança analítica para determinar os teores de sólidos fixos e sólidos voláteis (equações 3 e 4, respectivamente).

$$ST = \frac{M_s}{M_U} \quad (1)$$

Onde:

ST = Teor de Sólidos totais(%);

$M_s$  = Massa da amostra seca (g);

$M_U$  = Massa da amostra úmida(g).

$$W = 1 - ST \quad (2)$$

Onde:

W = Teor de umidade(%);

$$SF = \frac{M_C}{M_S} * 100\% \quad (3)$$

$$S_v = \frac{M_s - M_c}{M_s} * 100\% \quad (4)$$

Onde:

SF = Sólidos Fixos (%)

SV=Sólidos Voláteis (%)

M<sub>c</sub> = Massa do dejetado calcinado (g);

A estimativa da produção de biogás foi feita a partir da quantificação da DQO (demanda química de oxigênio), que foi realizada no laboratório Nucleotec em Foz do Iguaçu, utilizando a metodologia SMWW 5220 D (*Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 22th Edition*). A DQO é usada para ter uma estimativa da produção teórica do metano em processos anaeróbicos. De acordo com o Santos (2000), a produção teórica do metano possui valor fixo, em função da DQO, onde 1kg de DQO convertido corresponde a 0,35 m<sup>3</sup> de metano gerado.

Para a conversão em biogás é levado em consideração a biodegradabilidade da matéria orgânica (75%), a eficiência do biodigestor(85%) e a fração de matéria orgânica utilizada pelas bactérias(5%) (SANTOS, 2000) . Tais percentuais são levados em consideração para o cálculo do valor teórico da produção de gás.

A mesma metodologia para a quantificação do teor de sólidos voláteis foi aplicada ao resíduo após a digestão anaeróbia a fim de verificar a biodegradabilidade. Após o término do período de produção de biogás o resíduo não é descartado, mas sim utilizado com biofertilizante na cama de cultivo de hortaliças do próprio sistema. Verificando a biodegradabilidade é possível comprovar se o biofertilizante não é poluente, assim com o resíduo.

#### 4.4. AVALIAÇÃO DO POTENCIAL METANOGÊNICO DOS RESÍDUO DA AQUAPONA.

Todos os insumos orgânicos necessários para realizar a avaliação foram obtidos nas proximidades do Instituto Federal do Paraná, para que o transporte e preparo pudessem ser feitos em tempo hábil. Os resíduos da aquaponia, obtidos no decantador do sistema de aquaponia, estavam congelados, o inóculo foi obtido no laboratório do CiBiogás do Parque Tecnológico Itaipu (Foz do Iguaçu/Paraná).

#### 4.4.1. Resíduos da Aquaponia

Durante um período aproximado de 45 dias o resíduo foi acumulado no decantador do sistema de aquaponia (Figura 9). Parte deste resíduo, aproximadamente 300mL foi congelado objetivando a análise do potencial metanogênico. O descongelamento foi realizado em temperatura ambiente.

#### 4.4.2. Inóculo

O inóculo é responsável por fornecer a comunidade microbiana para conversão dos compostos orgânicos no processo de digestão anaeróbia (SOUZA, et al., 2020). O inóculo detém de uma ampla comunidade microbiana capazes de biodigerir a diversidade de compostos orgânicos presentes nos dejetos de peixe coletados no sistema de aquaponia.

Para tanto, optou-se por utilizar como agente inoculante o efluente de um reator anaeróbio com agitação e temperatura constante de natureza mesofílica (37 °C). Sua base é efluente de suinocultura e de dejetos bovino.

#### 4.4.3. Preparo das amostras

As amostras foram formuladas seguindo a recomendação de Steinmetz et al. (2012) , de modo a não ultrapassar o teor de 12% de ST nos reatores, preservando a digestão anaeróbia em estado úmido.

A Tabela 3 apresenta as amostras que foram preparadas para este estudo.

As amostras foram preparadas de maneira que a mistura ficasse próxima a 50% do volume total do reator (100mL), (STEINMETZ et. al., 2012).

Para completar 50% do reator foi utilizado água para manter o teor de ST.

Todos os ensaios foram realizados em triplicata conforme pode ser observado na Tabela 3.

#### 4.4.4. Ensaios de produção bioquímica de metano – PBM

De acordo com Owen et.al. (1979) o ensaio PBM, em inglês *Biochemical Methane Potential* (BMP), é utilizado para avaliar a digestibilidade, toxicidade anaeróbia e potencial de geração de metano a partir de resíduos orgânicos.

Para este ensaio foram utilizados como reatores ( frascos de penicilina) de 100mL, com volume utilizado de 50mL e espaço para gás( headspace) de 50mL.

Tabela 3: Definição das amostras para o estudo

<b>dejeito (g)+ inóculo (g)</b>					
1		2		3	
dejeito	inóculo	dejeito	inóculo	dejeito	inóculo
10,107	21,823	11,695	20,685	11,227	19,531
<b>inóculo (g)</b>					
1		2		3	
inóculo		inóculo		inóculo	
30,107		28,970		31,030	
<b>dejeito (g)</b>					
1		2		3	
dejeito		dejeito		dejeito	
29,750		30,050		29,010	

Fonte: Autor, 2023

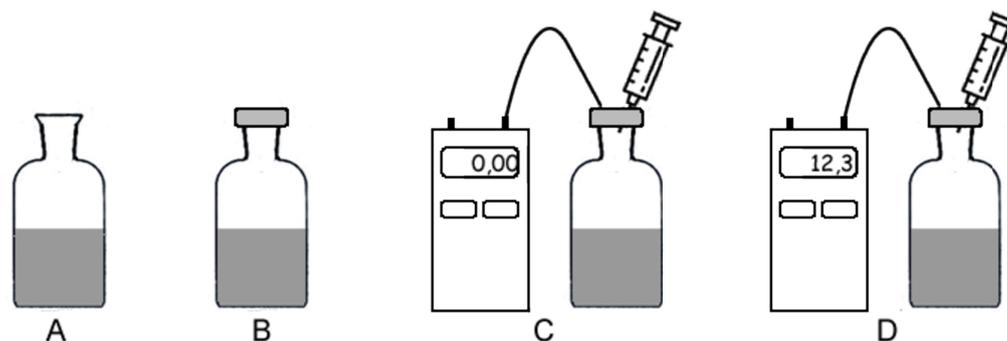
Após a inserção das amostras, Figura 19 (A), os frascos foram imediatamente lacrados com septos de borracha de 20 mm e lacre de alumínio de 20 mm, Figura 19 (B), de modo a garantir a vedação do sistema. Na sequência, uma seringa foi utilizada para retirada do oxigênio, usando um manômetro para acompanhar a retirada do gás, Figura 19 (C). A mensura diária do biogás foi realizada através de duas agulhas, uma conectada em uma seringa (20 e 200mL) e outra em um manômetro, Figura 19 (D), para realização do alívio e retirada de biogás.

O processo de retirada do gás foi realizado em duas etapas. Primeiramente, a agulha do manômetro era inserida para verificar a pressão interna do reator e o valor era anotado em quilopascal (kPa), na sequência a agulha da seringa era inserida e o gás retirado observando o valor no manômetro até chegar a zero e anotada a quantidade de gás em mL.

O ensaio foi realizado durante 36 dias, os reatores foram mantidos em estufa à 35°C. O encerramento do ensaio foi dado quando o volume de biogás gerado foi menor que 1% do volume de gás acumulado (STEINMETZ et al., 2012).

A Figura 12 apresenta uma sequência da incubação dos reatores.

Figura 12: Sequência de incubação dos reatores PBM



Fonte: Autor, 2023

A técnica de cromatografia a gás foi empregada para determinar a composição do biogás gerado a partir dos resíduos da aquaponia. Para realizar este experimento foi utilizado o laboratório da UTFPR, campus Medianeira.

Os testes foram realizados em cromatógrafo da marca Shimadzu® 2010 equipado com coluna capilar Carboxen® 1010 plot (30 m x 0,53mm x 0,30 µm). Como gás de arraste foi utilizado argônio com vazão de 8 mL.min<sup>-1</sup>. Foram injetados 500 µL de amostra e a temperatura do injetor foi ajustada para 200 °C. A detecção foi realizada em detector de condutividade térmica (TCD) à temperatura de 230°C. O forno foi programado para operar à temperatura inicial de 130 °C, sendo aquecido a 135 °C a uma taxa de 46 °C.min<sup>-1</sup> durante 6 minutos.

#### 4.4.5. Produção de Biogás

O resíduo contendo aproximadamente 400mL de dejetos e 600mL de água conforme composição apresentada na Tabela 4 foi mantido por um período de 36 dias no biodigestor (Figura 14). A extração do biogás foi feita pela torneira localizada na parte superior do biodigestor utilizando um balão de festas (Figura 13).

Para calcular o volume de biogás foi utilizada fórmula do volume de uma esfera (Equação 5). Para comprovar o resultado do cálculo, o conteúdo do balão foi retirado usando uma seringa de 100mL.

$$V = \frac{4}{3} \pi r^3 \quad (5)$$

Onde:

V: Volume (ml)

r: raio(cm)

Figura 14: Biodigestor



Figura 13: Remoção de gás do biodigestor



Fonte: Autor, 2023

#### 4.5. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados coletados da pressão foram submetidos à análise de variância (ANOVA), uma fórmula estatística usada para comparar as variâncias entre as medianas (ou médias) de grupos diferentes (FISHER, 1990). Em muitos casos a ANOVA é usada para determinar se há alguma diferença entre as medianas dos diferentes grupos.

As diferenças entre as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey para comparações múltiplas, adotando-se o nível de confiança de 95% e o valor-p de 0,05.

#### 4.6. MONTAGEM E AUTOMAÇÃO DO BIODIGESTOR

##### 4.6.1. Biodigestor e gasômetro

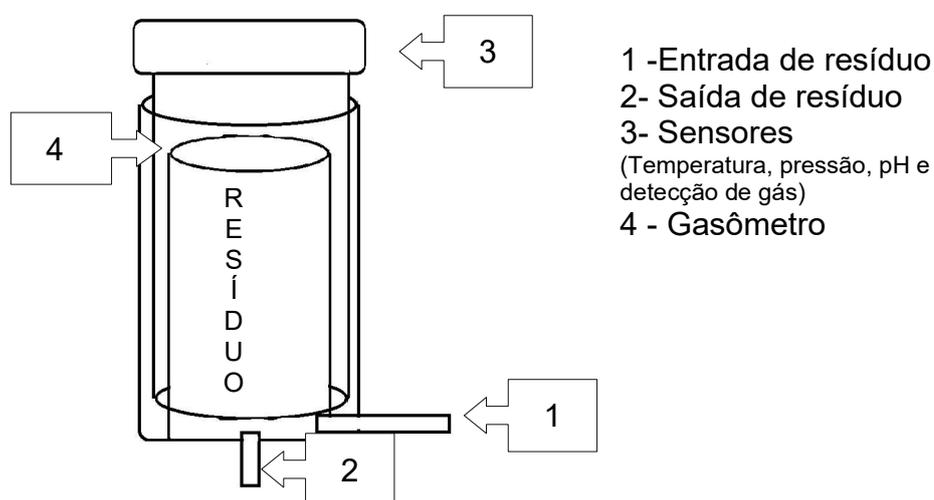
Para construir o biodigestor (Figura 15) foi utilizado como base o modelo de Soethe (2014) acrescentando o abastecimento, descarga e sistema de automação. Para abastecimento e descarga, dois furos foram feitos na parte inferior para entrada e saída do resíduo. O resíduo entra no biodigestor através de descarga feita pelo decantador (1). Após a produção de gás, o digestato restante é retirado, usando descarga (2), e diluído no tanque de água para irrigar as plantas, servindo com biofertilizante. Acoplado ao gasômetro (4), foram instalados os sensores (3). Para evitar vazamento de gás pelo gasômetro, o cano maior foi preenchido com água.

Para definir a capacidade do biodigestor, foi necessário determinar a quantidade de água para diluição do resíduo, com base no teor de sólidos totais do dejetos.

Segundo Nogueira (1986) para eficiência da digestão anaeróbia, o material a ser digerido deve conter um teor de aproximadamente 12% de ST. Assim, a partir da caracterização do teor de sólidos totais do dejetos, pode-se estimar que, de modo a favorecer a ação dos microrganismos na degradação da matéria orgânica, a alimentação do biodigestor é realizada na proporção 4:25 (água: dejetos). A Tabela 4 apresenta os dados utilizados para estimar a alimentação do biodigestor.

A quantidade de resíduos de peixe apresentado na Tabela 4, foi calculada com base no produto da quantidade de peixes usados no sistema de aquaponia, 50 peixes, pela quantidade estimada de dejetos diários (Tabela 8).

Figura 15: Esquema do biodigestor construído



Fonte: Autor com base no modelo desenvolvido por Soethe (2014)

Tabela 4: Proporção de água e dejetos para alimentação do biodigestor

	<b>Quantidade (g)</b>	<b>ST(%)</b>	<b>ST (g)</b>	<b>% de cada amostra</b>
Resíduos	40	63	25,200	19,05
Água	170	-	-	80,95
<b>Total</b>	<b>210</b>	<b>12</b>	<b>25,200</b>	

Fonte: Autor, 2023

Como citado anteriormente, o material a ser digerido deve conter um teor de aproximadamente 12% de ST, assim o valor para a água foi ajustado até obter o teor de 12%. O teor de sólidos totais para dejetos de peixe, obtido e arredondado da Tabela 4, foi utilizado para calcular sua proporção em gramas (g), valor este utilizado para calcular o total de ST usando a equação 6.

$$T_{st} = \frac{S_T}{M} \quad (6)$$

Onde:

M = Massa.

S<sub>T</sub> = Sólidos Totais, (g).

A partir do valor de produção diária de dejetos foi possível calcular o tempo aproximado para que seja produzida a quantidade necessária de dejetos para abastecer o biodigestor. De acordo com Kunz (2019) a produção de metano leva em torno de 35 a 40 dias.

Obedecendo os dados de proporção apresentados na Tabela 4 de 19,05% de resíduos de peixe e 80,95% de água, junto ao valor estimado de produção de resíduos de peixe, foi obtido o resultado de 2kg de resíduo diluído em água, assim o biodigestor foi projetado com capacidade de 2,5L.

Automação (do latim *Automatus*, que significa mover-se por si só (MAHONEY,2014) é um sistema que pode verificar seu próprio funcionamento, sem a interferência humana, como medições e introduzir correções(WEDSON, 2003). A automação pode também ser definida como uma tecnologia que utiliza comandos para executar um dado processo, substituindo processos antes operados por seres humanos (DORF,2001).

Em outras palavras é a aplicação de técnicas computadorizadas ou mecânicas para diminuir o uso de mão de obra no processo. A automação diminui os custos e aumenta a velocidade da produção(ROGGIA, 2016).

A partir do ano de 2010 um termo da Tecnologia da Informação – TI tem ganhado muita atenção, principalmente na área do agronegócio que é o da Internet das Coisas (*Internet of Things* IoT).

O termo IoT é a capacidade de nos conectarmos a qualquer tipo de dispositivo e permitir com isto um alto nível de interoperabilidade, que é a capacidade de tornar flexível a integração de sistemas desenvolvidos em plataformas ou linguagens heterogêneas (ALVES, 2021).

Alguns exemplos que podem auxiliar no entendimento da IoT são: relógios Inteligentes, óculos inteligentes, sensores de diferentes tipos e funcionalidades, que fornecem dados que podem ser analisados por sistemas de computador.

A automação pode propiciar diversos benefícios e vantagens para o sistema como

um todo. Um sistema de produção de biogás também pode ser automatizado. É possível, com uso de dispositivos programáveis, obter informações referentes à qualidade e composição do gás, automatizar o processo de controle da energia produzida, consumida ou estocada. Desta forma, o controle, a manutenção e o monitoramento do sistema, otimizam o esforço e atenção em comparação aos sistemas manuais.

Os indicadores tradicionalmente utilizados para o monitoramento são a taxa de produção de gás, composição gasosa, temperatura, alcalinidade e concentrações de ácidos. Parâmetros de fase líquida como temperatura, pH, alcalinidade e ácidos graxos voláteis, em inglês Volatile Fatty Acids (VFA), refletem o ambiente de microrganismos e podem dar resposta mais rápida do que parâmetros de fase gasosa (SHUBEITA et al., 2014).

A instrumentação dos sistemas de biodigestão pode ser feita com diversos tipos de tecnologias de hardware, como sensores e atuadores, que podem fornecer dados referentes a potencial hidrogeniônico (pH), temperatura e pressão, variáveis que interferem diretamente no processo de biodigestão, por esse motivo devem ser constantemente monitoradas para garantir a eficiência do processo.

Os principais parâmetros dos processos que devem ser controlados são apresentados na Tabela 5 .

Inicialmente, para este projeto, foram monitorados o pH, temperatura, presença de gás e pressão do biodigestor.

#### 4.6.2. Sensor de pH, modelo 4502c

Este sensor é desenvolvido para trabalhar em conjunto com microcontroladores medindo o pH do resíduo no biodigestor.

O sensor é constituído de uma haste, a qual geralmente é feita em vidro, apresentando uma “membrana”, sendo preenchido com uma solução para armazenagem, conhecida como tampão de pH (Figura 16a). Este design proporciona um ambiente propício no qual íons  $H^+$  ficam armazenados em seu interior e possam ser utilizados como base para futuras leituras, (STRAUB. 2022).

Tabela 5: Parâmetros para controle do biodigestor

Parâmetros	Descrição
Biomassa na entrada	É o volume de biomassa inseridos biodigestor
Digestato na saída	É o volume de líquido resultante
Pressão e temperatura da biomassa	Pressão no biodigestor e temperatura da biomassa quando no biodigestor
Quantidade de gás gerado	Volume de gás medido no reservatório
Composição do biogás	Proporção de gás metano e gás carbônico
pH	Regulador de acidez da biomassa
Carga orgânica	Composição da biomassa
Tempo de permanência	Tempo de cada fase e suas etapas

Fonte: Adaptado de KUNZ (2019) e NOGUEIRA(1986)

Para fazer uso do sensor de pH é necessária sua calibração, colocando o pino central do conector Bayonet Neill Concelman (BNC) em curto com a parte externa (Figura 16b). Isto fará com que ao conectar o módulo ao Arduino, seja apresentado o valor convertido em tensão de 2,5V.

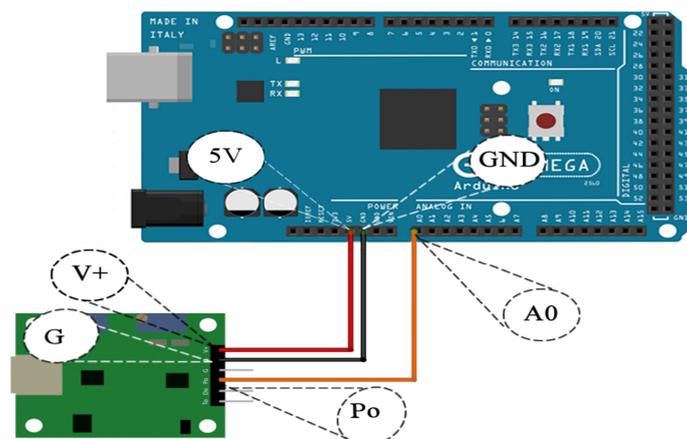
A conexão com o Arduino e conexões entre os pinos seguem o esquema apresentado na Figura 17. Para alimentação de energia os pinos (5V → V+), dados (A0 → P0) e aterramento (GND → G).

Figura 16: Calibração do sensor de pH Arduino + Módulo de Leitura (haste).



Fonte: Autor, 2022

Figura 17: Esquema de ligação do sensor de pH Arduino



Fonte: Autor, 2022

#### 4.6.3. Sensor de temperatura e pressão BMP180

Conforme apresentado na Tabela 5, a pressão e temperatura no biodigestor devem ser monitoradas, estes dados são obtidos com um sensor BMP180 (Figura 18). Este sensor se comunica com o Arduino usando a interface I2C, um protocolo utilizado na interligação de microcontroladores com outros dispositivos.

Este sensor permite leituras de pressão de 30000 a 110000 Pascal (Pa), unidade de pressão atmosférica e leituras de temperaturas que variam de  $-40^{\circ}$  a  $+85^{\circ}$  C (FILIFEFLOP, 2022).

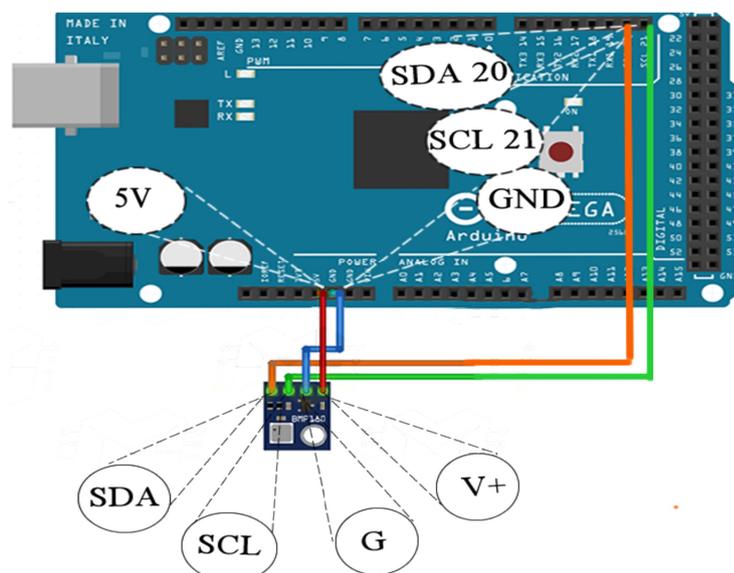
O ajuste no algoritmo para este sensor (Anexo 1) é referente a conversão das unidades de medida de pressão de Pa(Pascal), unidade padrão do sensor, para psi (Pound Force per Square Inch), unidade comumente usada no Brasil. A comunicação do sensor BMP180 com Arduino é apresentada na Figura 19.

Figura 18: Sensor de Pressão Barométrico BMP180



Fonte: Autor, 2022

Figura 19: Esquema de ligação do sensor BMP180



Fonte: Autor, 2022

As conexões entre pinos da Figura 19 tem as funcionalidades de alimentação de energia (5V → V+) dados (SDA 20 → SDA) , clock (SLC 21 → SLC) e aterramento (GND → G).

#### 4.6.4. Sensor de gás MQ-2

São sensores capazes de detectar concentrações de gases combustíveis e fumaça. Os gases inflamáveis que este sensor pode detectar são GLP, Metano, Propano, Butano, Hidrogênio, Álcool, Gás Natural dentre outros. A detecção de gases é realizada de acordo com a sua concentração que pode variar de 300 a 10.000 ppm (FILIPEFLOP, 2022). Uma imagem do sensor de gás é mostrada na Figura 20.

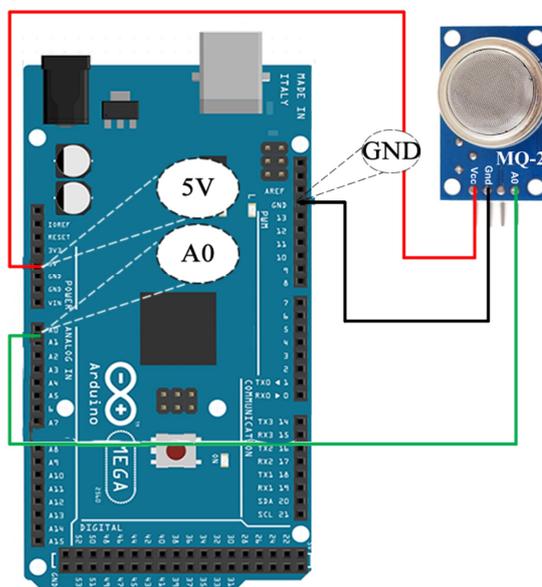
Figura 20: Sensor de Gás MQ-2 Monóxido de Carbono



Fonte: Autor, 2022

O ajuste do sensor é realizado via potenciômetro, que neste sistema foi ajustado para detectar a presença de gás a partir de 300 ppm. A comunicação do sensor MQ-2 com Arduino é apresentada na Figura 21.

Figura 21: Esquema de ligação do sensor MQ-2



Fonte: Autor, 2022

As conexões dos pinos da Figura 21 entre o sensor de MQ-2 e o Arduino tem as funcionalidades de alimentação de energia ( $5V \rightarrow Vcc$ ) dados ( $A0 \rightarrow A0$ ), e aterramento ( $GND \rightarrow G$ ).

#### 4.6.5. Arduino Mega 2560 R3

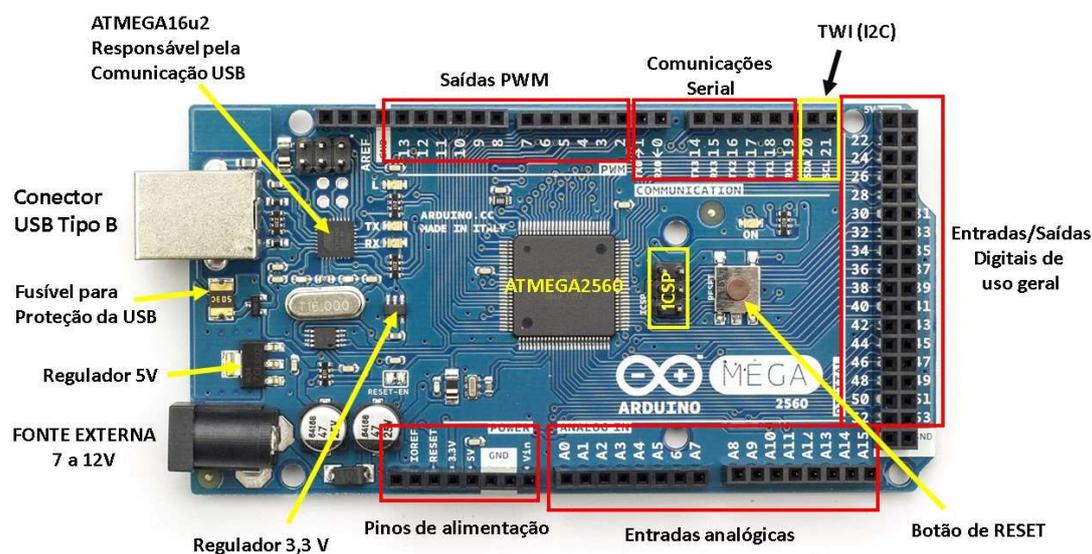
Todos os sensores serão controlados pelo Arduino, uma plataforma de prototipagem eletrônica que permite o desenvolvimento de projetos de automação. O Arduino é uma tecnologia Open Source, ou seja, tem o código aberto, o que permite o acesso por qualquer pessoa.

O microcontrolador Arduino executa um programa *Open Source*, que é criado e atualizado pelo usuário e pode operar vários componentes eletrônicos em um circuito elétrico (ARDUÍNO, 2022). O usuário pode modificar a programação e mudar as funções sem a necessidade de mudanças físicas no circuito.

A placa Arduino Mega 2560 R3 (Figura 22), escolhida para desenvolver o projeto, tem 70 pinos de entrada e saída digital (dos quais 15 podem ser usados como saídas PWM e 16 como entradas analógicas), 4 UARTs (portas seriais de hardware), um cristal

oscilador de 16 MHz, uma conexão USB, um conector de alimentação, um conector ICSP, e um botão de reset (ARDUÍNO, 2022).

Figura 22: Pinos do Arduino Mega 2560



Fonte: arduino, 2022

A alimentação da placa Arduino 2560 pode ser feita através da conexão *Universal Serial Bus* (USB) com uso de uma fonte externa de 9V ou bateria.

O Arduino possui as seguintes pinagem de alimentação (ARDUÍNO, 2022) descritas na Tabela 6.

Em relação às entradas e saídas do Arduino, existem 70 pinos digitais que podem ser usados para este fim, todos operando a 5V. Os pinos podem fornecer ou receber 20 mA conforme a condição de operação recomendada e possuem resistor pull-up interno (desconectado por padrão) de 20-50 k $\Omega$ . Para evitar danos permanentes ao microcontrolador, 40 mA não devem ser ultrapassados.

Alguns pinos do Arduino Mega possuem funções especializadas (ARDUÍNO, 2022), como descrito na Tabela 7.

O Arduino Mega 2560 possui 16 entradas analógicas, cada uma com 10 bits de resolução (ou seja, 1024 valores diferentes). Por padrão, eles medem de 0 a 5 V.

Os dados obtidos dos sensores são recebidos pelo Arduino e enviados para o módulo ESP32, que permite a comunicação pelo Wifi, com um baixo consumo de energia. Com 4 MB de memória flash, o ESP32 permite criar variadas aplicações para projetos de IoT, acesso remoto, webservers e dataloggers, entre outros (FILIFELOP,

2022).

Tabela 6: Pinagens de alimentação do Arduino

<b>VIN</b>	para fonte de alimentação externa alternativa ao conector USB.
<b>5V</b>	fonte de alimentação gerada pelo regulador embarcado (via VIN), conexão USB ou outra fonte regulada em 5 V.
<b>3V3</b>	fonte de 3,3 V gerada pelo regulador embarcado que suporta no máximo 50mA.
<b>GND</b>	pinos terra.
<b>IOREF</b>	referência de tensão com a qual o microcontrolador opera. Um shield configurado corretamente pode ler a tensão do pino IOREF e selecionar a fonte de alimentação apropriada ou habilitar conversores de tensão nas saídas para trabalhar com 5 V ou 3,3 V.

Fonte: Arduino (2022)

#### 4.6.6. Sistemas computacionais responsivos

A arquitetura responsiva é frequentemente definida como um tipo de arquitetura que tem a capacidade de alterar a sua forma, em resposta às novas condições. Embora esta descrição capture com sucesso a essência do tema, não fornece um entendimento detalhado necessário para a construir (HENRIQUES, 2015).

A arquitetura responsiva aplicada aos sistemas para ambiente da internet contribui para que os sistemas possam se adaptar em diferentes dispositivos como aparelhos celulares, *tablets*, notebook e computadores *desktop*.

Segundo Nieradka (2017), os sistemas *web*, ou seja, para ambiente da internet, tem como base algoritmos que são instruções de como o sistema deve se comportar, as linguagens de programação utilizadas devem ter recursos para internet como ser acessível pelo navegador ou acesso a banco de dados.

As linguagens possuem níveis bem como a arquitetura na qual o desenvolvimento é feito, por exemplo, no nível do usuário, ou, (client-side) as linguagens utilizadas são executadas no próprio navegador como a linguagem de marcação de hipertextos, *Hypertext Markup Language* HTML ou Javascript. Já para acesso a banco de dados e programação no nível de servidores web (server-side) as linguagens mais comuns são o PHP, java e o mais novo Python.

Tabela 7: Pinos do Arduino Mega com funções especializadas

Serial	D0 (RX) e D1 (TX); Serial 1: D19 (RX) e D18 (TX); Serial 2: D17 (RX) e D16 (TX); Serial 3: D15 (RX) e D14 (TX). Usado para receber (RX) e transmitir (TX) dados seriais TTL. Os pinos D0 e D1 também são conectados aos pinos correspondentes do chip serial ATmega16U2
Interruptores externos	D2 (interruptor 0), D3 (interruptor 1), D18 (interruptor 5), D19 (interruptor 4), D20 (interruptor 3) e D21 (interruptor 2).
PWM	D2 a D13 e D44 a D46. Forneça saída PWM de 8 bits com a função analogWrite().
SPI	D50 (MISO), D51 (MOSI), D52 (SCK), D53 (SS). Esses pinos suportam comunicação SPI usando a biblioteca SPI. Os pinos SPI também são quebrados no ICSP, que é fisicamente compatível com o Arduino Uno.
LED	D13. Há um LED integrado ao pino digital 13. Quando este pino está no valor HIGH este LED está aceso, quando o pino está em LOW o LED está apagado.
I2C	D20 (SDA) e D21 (SCL). Suporte a comunicação TWI usando a biblioteca Wire.

Fonte: Arduino (2022)

Para armazenamento de dados os sistemas web fazem uso de bancos de dados que como descrito por Nieradka (2017) funcionam como uma coletânea de dados, que são armazenados em uma tabela que possui colunas e linhas, nas quais as informações são retidas. Cada coluna guarda um tipo de dado chamado de atributo, enquanto cada linha armazena o valor de atributo.

O MySQL é um sistema de gerenciamento de banco de dados, que utiliza a linguagem SQL como interface. É atualmente um dos sistemas de gerenciamento de bancos de dados mais populares da Oracle Corporation, com mais de 10 milhões de instalações pelo mundo (MySQL, 2022).

Todas as instruções executadas pelo banco de dados, seja para um novo registro, alteração, exclusão ou busca são escritas em uma linguagem de programação denominada SQL (Standard Query Language). Esta linguagem padrão para trabalhar com bancos de dados relacionais é utilizada de maneira relativamente parecida entre os principais bancos de dados. Cada banco de dados possui suas características, com pequenas mudanças de sintaxe, sendo o MySQL popular por possuírem versões gratuitas e de código fonte aberto.

#### 4.6.7. Monitoramento automatizado

Para monitorar a produção de biogás foram instalados no biodigestor, sensores de

pH, temperatura, pressão e presença de gás. Para o controle dos sensores foi utilizado um microcontrolador Arduino. Existem vários modelos de Arduino, entre eles, Arduino Uno R3, Uno SMD, Arduino Mega 2560, Nano, Micro, LilyPad, Mini, Arduino DUE, Duemilanove, Arduino ADK. Para este projeto o modelo escolhido, devido aos recursos disponíveis, como por exemplo, a quantidade de pinos analógicos e digitais disponíveis, foi o Mega 2560.

Os sensores instalados no biodigestor enviam dados para o microcontrolador Arduino que analisa os dados e envia informação para um painel de LEDs que apresenta o comportamento resumido do biodigestor. Os dados também são enviados para um pequeno microcontrolador ESP32 que estabelece comunicação sem fio através do Wifi, os dados são apresentados em um aplicativo responsivo e armazenados em banco de dados MySQL. Sistemas responsivos permitem que o usuário possa fazer uso em diferentes plataformas como tablet, smartphones e computadores desktop. A tela do sistema se adapta ao dispositivo permitindo a sua utilização de maneira que o usuário possa usufruir da usabilidade e da acessibilidade. A Figura 23 apresenta o fluxograma do sistema.

De maneira a proteger os componentes eletrônicos, uma caixa com tampa de acrílico foi utilizada para instalação (Figura 24).

#### 4.6.8. Aplicativo para monitoramento – IoT – Biogás

O desenvolvimento de um aplicativo para receber os dados armazenados é necessário para auxílio na tomada de decisão. Informações detalhadas como presença de gás, pressão dentro do biodigestor, valor do pH e a temperatura são importantes para produção do biogás. O aplicativo coleta informações do biodigestor 3 vezes ao dia, pela manhã, tarde e noite e alertam, caso alguma das variáveis esteja apresentando valores que possam prejudicar ou impedir a produção de biogás.

O sistema permite observar a quantidade de dias em que o biodigestor está em processo de produção de biogás, a pressão, pH e temperatura média em cada dia.

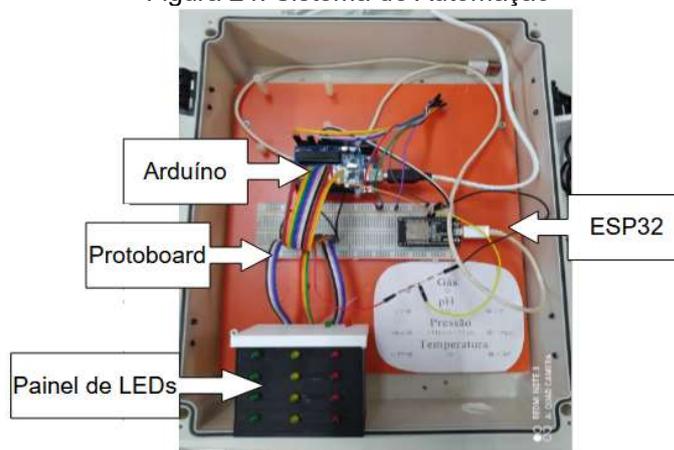
Como redundância na coleta de dados, além da internet o sistema também usa a porta serial do Arduino caso não haja conexão com a internet, armazena localmente temporariamente e quando a conexão é restabelecida envia os dados para o banco de dados. Para coletar os dados pela porta serial foi utilizado um totem (Figura 25) que também informa dados do sistema.

Figura 23: Fluxograma da automação do biodigestor



Fonte: Autor, 2022

Figura 24: Sistema de Automação



Fonte: Autor, 2022

A Figura 26 apresenta a tela inicial do aplicativo e um exemplo de relatório.

Cada item da tela inicial pode ser selecionado para obter detalhes, por exemplo, um relatório da variação da pressão ao longo dos dias de produção.

As tecnologias envolvidas no desenvolvimento do aplicativo, foram divididas em hardware, *back-end* e *front-end*. Os itens de hardware foram detalhados na revisão bibliográfica, item 2.4 Automação. O *back-end*, parte do código que conecta a internet com o banco de dados, gerencia as conexões dos usuários e alimenta a aplicação web, está descrito e detalhado em Busarello (2023).

Figura 25: Totem de coleta e apresentação de dados



Fonte: Autor, 2023

Para o aplicativo desenvolvido de maneira responsiva, representando o *front-end*, foram utilizadas as linguagens *Hypertext Markup Language* -HTML 5, ou linguagem de marcação de hipertexto, que serve como base para os sistemas web. As folhas de estilo ou *Cascadin Style Sheets* – CSS 3 foram usadas na formatação de conteúdo, sendo responsável pelo visual do aplicativo. Para adicionar dinamismo e leituras e escritas

Figura 26: Tela inicial e relatório de pressão do aplicativo de monitoramento

<b>Dias em produção</b>		<b>21 dias</b>
<b>Dados do biodigestor</b>		
Gás	350	
pH	7	
Temperatura	29	
Pressão	20	
*Dados coletados dia 01/08/2023 às 15:52:03 horas		
16:49:04 - Próxima leitura as 18 horas		
<b>Relatório Geral</b>		
<b>Relatório por mês</b>		
<b>Relatório por período</b>		
<b>Sobre o projeto</b>		

<b>2023-08-01</b>	
Gás	350
pH	7
Temperatura	29
Pressão	20
<b>2023-08-01</b>	
Gás	350
pH	7
Temperatura	29
Pressão	20
<b>2023-08-01</b>	
Gás	350
pH	7
Temperatura	29
Pressão	20

Fonte: Autor, 2023

assíncronas dos dados foi utilizado um conjunto de técnicas de desenvolvimento denominado AJAX (*Asynchronous Javascript and XML*) .

#### 4.7. DEMANDA ENERGÉTICA

Segundo Tolmasquim (2011), o significado de demanda energética, é a demanda de potência que é medida em kW (quilowatt) ou MW (megawatt), a qual é necessária para atender a todas as cargas dentro de um determinado período de tempo.

Para calcular o consumo médio de energia (kWh) de um equipamento, é necessário conhecer a potência do aparelho. O cálculo segue a equação (7):

$$Consumo = \frac{Pe * Nh * Nd}{1000} \quad (7)$$

Onde:

Pe: Potência do equipamento (W);

Nh: Número de horas utilizadas;

Nd: Número de dias de uso ao mês.

O cálculo da demanda energética do sistema se faz necessário para estimar a capacidade do gerador, e para saber se o volume de biogás produzido é suficiente para gerar a energia necessária.

Para determinar o gerador movido a biogás, deve-se considerar fatores adicionais como a disponibilidade de biogás e a eficiência do gerador que segundo Junior (2019), varia de 25% a 40%,

O cálculo segue a equação 8 e 9:

$$Cb = \frac{Ded}{Pcb} \quad (8)$$

Onde:

Cb: Consumo de biogás necessário(Nm<sup>3</sup>);

Ded: Demanda energética diária (kcal)

Pcb: Poder calorífico do biogás (kcal/Nm<sup>3</sup> )

$$Qb = \frac{Cb}{Efg} \quad (9)$$

Onde:

Qb: Quantidade de biogás (Nm<sup>3</sup>);

Efg: Eficiência do gerador (%);

Assim, é possível determinar um gerador capaz de utilizar aproximadamente (Qb) de biogás diariamente.

Inicialmente o volume do biogás é medido em mililitros e para poder determinar se a produção é suficiente para atender é necessário converter para normal metro cúbico (Nm<sup>3</sup>). Para isso é necessário considerar as condições de temperatura e pressão nas quais o volume de biogás foi medido. A conversão pode ser feita utilizando a equação 10.

$$\frac{V1}{T1} = \frac{V2}{T2} \quad (10)$$

Onde:

V1: Volume inicial do biogás (ml);

T1: Temperatura inicial (K);

V2: Volume final (Nm<sup>3</sup>);

T2: Temperatura final (K).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1. QUANTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO DE DEJETOS

Durante o período em que os peixes foram mantidos nas incubadoras, foi possível estimar a produção diária de dejetos por peixe. A Tabela 8 mostra os valores das pesagens dos dejetos realizadas durante o período de três dias, ao final foi obtido o valor médio de 0,8g diárias de dejetos. Durante o período em que os peixes estiveram nas incubadoras, foram coletados e congelados 250 g de dejetos.

Tabela 8: Estimativa de dejetos diário por peixe

	<b>Incubadora 1</b>	<b>Incubadora 2</b>	<b>Incubadora 3</b>	<b>Incubadora 4</b>
	<b>(g)</b>	<b>(g)</b>	<b>(g)</b>	<b>(g)</b>
	<b>5 peixes</b>	<b>6 peixes</b>	<b>4 peixes</b>	<b>5 peixes</b>
Dia 1	3,6	5,4	3,3	3,8
Dia 2	3,2	4,8	3,6	3,6
Dia 3	3,4	5,2	3,2	3,9
Total (g)	0,68	0,85	0,84	0,75

Inicialmente foram colocados 6 peixes em cada incubadora, mas fatores como a baixa temperatura no período em que o teste foi realizado e adaptação ao ambiente causaram a morte de alguns peixes. Em alguns casos houve substituição, porém como a mortalidade continuou foram mantidos apenas os peixes que conseguiram se adaptar.

A quantidade de dejetos produzidos diariamente por peixe foi avaliada em ambiente controlado para garantir que apenas as fezes fossem decantadas nos copos coletores. No sistema de aquaponia as fezes dos peixes são diluídas na água e enviadas ao decantador, porém, nem tudo é decantado, boa parte é levada junto com a água para a cama de cultivo de plantas ou retida no biofiltro. Assim, para determinar a quantidade de dejetos que efetivamente será encaminhado para o decantador, o seguinte procedimento foi adotado.

### 5.2. CARACTERIZAÇÃO

#### 5.2.1. Dejetos

Os teores de umidade, sólidos totais (ST), sólidos fixos (SF) e sólidos voláteis (SV)

para o dejetos são apresentados na Tabela 9. Os testes foram realizados em triplicata, assim, na tabela são apresentados também os valores médios bem como o desvio padrão obtido em cada análise.

Tabela 9: Caracterização da amostra de dejetos de peixe

	<b>ST (%)</b>	<b>SF (%)</b>	<b>SV (%)</b>	<b>Umidade (%)</b>
1	63,07	25,17	74,82	36,93
2	62,23	26,60	73,40	37,77
3	61,51	27,33	72,66	38,49
Média	62,27	26,36	73,63	37,73
Desvio padrão	0,00784	1,1018	1,1018	0,00784

Analisando os resultados da Tabela 9, é possível constatar alta porcentagem de SV, 73,63%, com desvio padrão de 1,1018% o que demonstra a reprodutibilidade das análises. Apesar de outros fatores como pH e temperatura influenciarem na produção de biogás, a alta porcentagem de SV também demonstra uma alta capacidade para geração de biogás.

Por ter sido feito em triplicata, além do valor da média também foi calculado o desvio padrão como forma de mostrar o grau de dispersão de cada parâmetro o que mostrou dados similares, pois quanto mais próximo de zero for o desvio padrão, mais homogêneo são os dados.

Ao comparar os resultados da Tabela 9 com resultados obtidos a partir de dejetos de suínos e de bovinos (Tabela 10) é possível verificar que, com exceção do percentual de ST os valores médios de SF e SV estão muito próximos em relação a suínos e superior a bovinos. Este resultado deve-se ao elevado teor de umidade dos resíduos de peixe e suínos. É importante lembrar que as amostras foram coletadas a partir das incubadoras, coadas para retirar o excesso de água e congeladas antes da realização da análise.

### 5.2.2. Digestato

Com o propósito de verificar a biodegradabilidade do dejetos utilizado na produção do biogás, o digestato foi caracterizado para avaliação do teor de sólidos voláteis, a fim de

avaliar o produto a ser utilizado como biofertilizante na cama de cultivo do sistema de aquaponia. A metodologia foi a mesma utilizada na caracterização do dejetos.

Tabela 10: Resultado da análise laboratorial dos dejetos de suínos e bovinos

	<b>Parâmetros</b>	<b>Média (%)</b>
Suínos	ST	36,41
	SV	73,66
	SF	26,33
Bovinos	ST	42,31
	SV	34,29
	SF	65,71

Fonte: (JUNIOR, 2019)

Na Tabela 11 são apresentados os valores médios bem como o desvio padrão obtido em cada análise.

Tabela 11: Caracterização do digestato

<b>Amostras</b>	<b>ST(%)</b>	<b>SF (%)</b>	<b>SV (%)</b>	<b>Umidade(%)</b>
1	91,03	99,32	0,68	8,97
2	93,12	99,54	0,46	6,88
3	91,21	99,43	0,57	8,79
Média	91,79	99,43	0,57	8,21
Desvio Padrão	1,157	0,10912	0,10912	1,157

Os dados da Tabela 11, indicam grande biodegradabilidade através dos baixos percentuais de SV em comparação com os valores dos percentuais de SV apresentados na Tabela 9. Isto indica que não haver problema caso fosse descartado no meio ambiente.

### 5.3. ESTIMATIVA DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS

A estimativa da produção de biogás foi feita a partir da quantificação da DQO. A produção teórica do metano possui valor fixo, em função da DQO. De acordo com o Centro para Conservação de Energia, Santos (2000), 1kg de DQO convertida

corresponde a 0,35 m<sup>3</sup> de metano gerado. A partir do resultado da DQO de 281.000 mg/L, foi estimada produção de 0,09835 m<sup>3</sup> metano por kg de resíduo.

Em comparação com outros tipos de dejetos como o bovino e suíno, o valor da DQO é notadamente superior, como pode ser observado a partir de dados comparativos com outros resíduos, na Tabela 12. Esse efeito pode ser atribuído à presença de ração não consumida pelos peixes. Para os dejetos de bovinos e suínos, devido ao processo de digestão do animal, a DQO desses resíduos tem valor menor.

Tabela 12: Estimativa de produção de biogás a partir de diferentes resíduos

Resíduo	DQO (mg/L)	Metano (m <sup>3</sup> /kg)
Peixe	281.000	0,09835
Bovino*	111.309	0,03895815
Suíno**	98.650	0,0345275

Fontes: \*(CAMPOS, 1997) \*\*(SOUZA, et al, 2009)

Em pesquisa similar Jordan et al. (2020) desenvolveram um sistema de geração de biogás a partir de um sistema aquapônico, com tilápias, o resultado obtido após 35 dias de degradação foi de 171,236 m<sup>3</sup> de biogás.

Em outra pesquisa, também com tilápias, Kafle e Kim (2012), encontraram um valor médio de 19,23 cm<sup>3</sup>/dia por litro de dejetos de peixe, para um tempo de retenção hidráulica de 60 dias e temperatura de 36 °C. Por outro lado, Salam et al. (2009), obtiveram uma produtividade de apenas 5 cm<sup>3</sup>/dia por litro de dejetos de peixe tilápia, para um tempo de retenção de 15 dias. Vale destacar, neste último trabalho, o pequeno tempo de retenção a quase metade do tempo utilizado, 36 dias.

A tabela 13 apresenta os dados dos quatro estudos.

Ao comparar os resultados apresentados na tabela 13 acima é possível observar uma grande variação nos valores de produtividade de biogás com dejetos de peixe, em função do tempo de retenção. Outras variáveis podem influenciar na produção de biogás, como a temperatura, tipo do biodigestor, espécie e idade dos peixes, isso influencia na quantidade e composição das fezes.

Tabela 13: Comparação entre produção de biogás a partir de dejetos de peixe

P1	Retenção (dias)	36
	Volume (m <sup>3</sup> /d/L)	0,041
P2	Retenção (dias)	35
	Volume (m <sup>3</sup> /d/L)	0,14
P3	Retenção (dias)	60
	Volume (m <sup>3</sup> /d/L)	0,1923
P4	Retenção (dias)	15
	Volume (m <sup>3</sup> /d/L)	0,05

P1:Autor (2023), P2: Jordan(2020), P3:Kafle e Kim (2012), P4:Salam(2009).

#### 5.4. ENSAIOS DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS

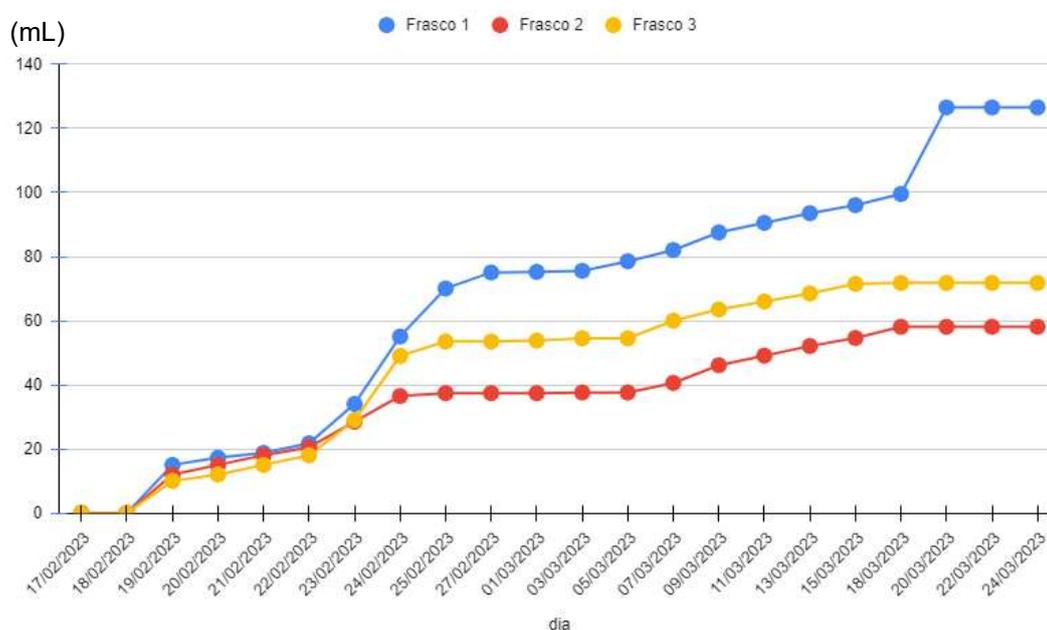
De modo a facilitar a replicabilidade do estudo e permitir comparações com outros estudos, este ensaio seguiu a norma VDI 4630 (2006). Com duração de 36 dias o ensaio encerrou quando verificado produção de biogás menor que 1% do total gerado (STEINMETZ et al., 2012).As Figuras 28 e 29 apresentam gráficos com valores de volume de biogás produzido para os ensaios contendo dejetos de peixe sem inóculo e com inóculo respectivamente.

Neste ensaio foram utilizados três reatores contendo inóculo, de maneira a verificar a eficiência deste na produção de biogás. Foi produzido média de 85,47 mL. A Figura 27 mostra o gráfico de produção de biogás para os reatores contendo apenas inóculo.

Levando em consideração que nos reatores contendo inóculo e dejetos foram inseridos apenas 10 gramas de dejetos, comparado proporcionalmente com os reatores onde foi utilizado cerca de 30 gramas de dejetos o valor produzido, em relação ao dejetos de peixe, é equivalente, mostrando assim que não houve uma influência significativa do inóculo.

A produção acumulada dos três reatores contendo apenas dejetos de peixe apresentou um valor médio de 291 mL, e para os reatores contendo dejetos de peixe e inóculo essa produção foi de 159,41 mL, indicando produção de aproximadamente 82% menor que a produção nos reatores contendo apenas os dejetos de peixe.

Figura 27: Produção de biogás a partir de inóculo



As figuras 28 e 29 apresentam produção de biogás nos reatores com e sem inóculo

A reduzida produção do gás nos reatores com inóculo, pode ser devido ao fato de que este é composto por dejetos de suínos e bovinos fazendo com que os microrganismos adicionados necessitem de tempo para se adaptar ao substrato, pois o meio ambiente onde estão inseridos são diferentes do ambiente original (SOETHE, 2014).

A produção técnica de biogás (T90), que representa o tempo de reação para que se alcance 90% do total de biogás produzido (MITO, et al, 20018), foi alcançado após 31 dias para ambos os ensaios e tempo de reação hidráulica (TRH) de 36 dias.

A Tabela 14 apresenta uma comparação com outros dejetos.

A comparação mostra que o T90 foi atingido de 86% do tempo de retenção hidráulica, Mostrando assim que o dejetos de peixe, se comparado com outros dejetos mais comumente utilizados como o de bovinos, tem cinética de produção de diferentes, com o resíduo bovino apresentando 10% a mais e o de resíduo alimentar com grama 58%, neste último a justificativa é devido a grama ser um resíduo lignocelulósico e por este motivo possui degradação mais lenta.

Figura 28: Produção de biogás para dejetos de peixes

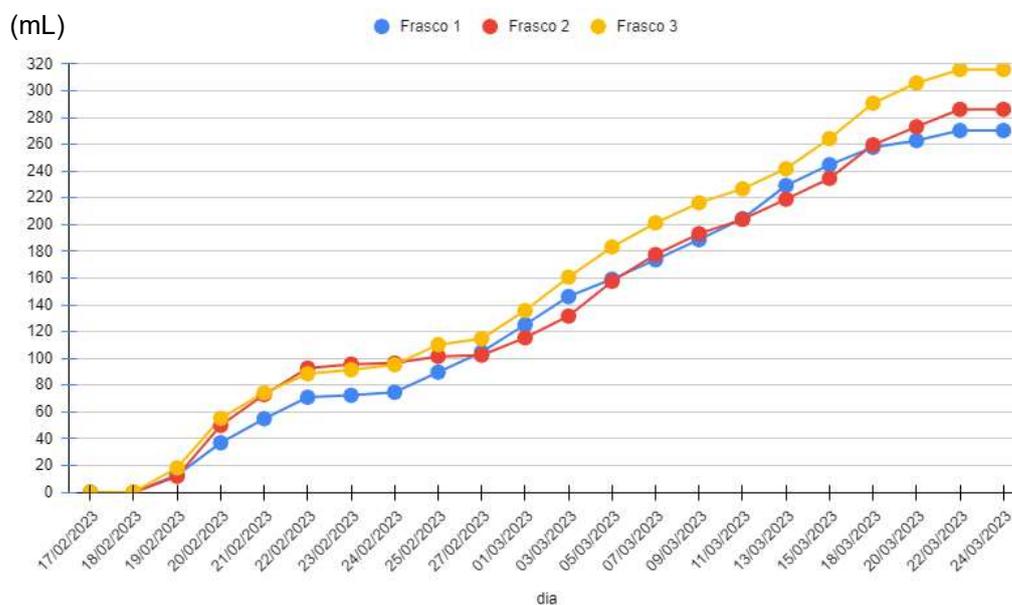


Tabela 14: Comparação de produção técnica T90 entre diferentes tipos de dejetos

Resíduo	T90/ TRH
Peixe	31/36
Resíduos alimentares com grama*	21/36
Resíduo bovino**	118/123

\*(GUERI, 2021) \*\*(SOUSA et al., 2009)

#### 5.4.1. Caracterização do biogás

A análise dos constituintes do biogás foi realizada com 5 e 12 dias de produção para verificar a evolução da digestão anaeróbia. O 12º dia foi escolhido pois como verificado nos ensaios bioquímicos (Figuras 27, 28 e 29), é o pico da produção de biogás.

Os resultados da análise podem ser vistos na Tabela 15.

Tabela 15: Cromatografia a gás

Dia 5	CH4	CO2	H2S
Porcentagem	14	37,7	0,013
Dia 12	CH4	CO2	H2S
Porcentagem	59	31	0,3

Como apresentado na Tabela 15, o percentual de metano obtido no 12º dia teve um valor muito bom em comparação com o do biogás usado como padrão apresentado na Tabela 16 .

Figura 29: Produção de biogás para dejetos de peixes + Inóculo

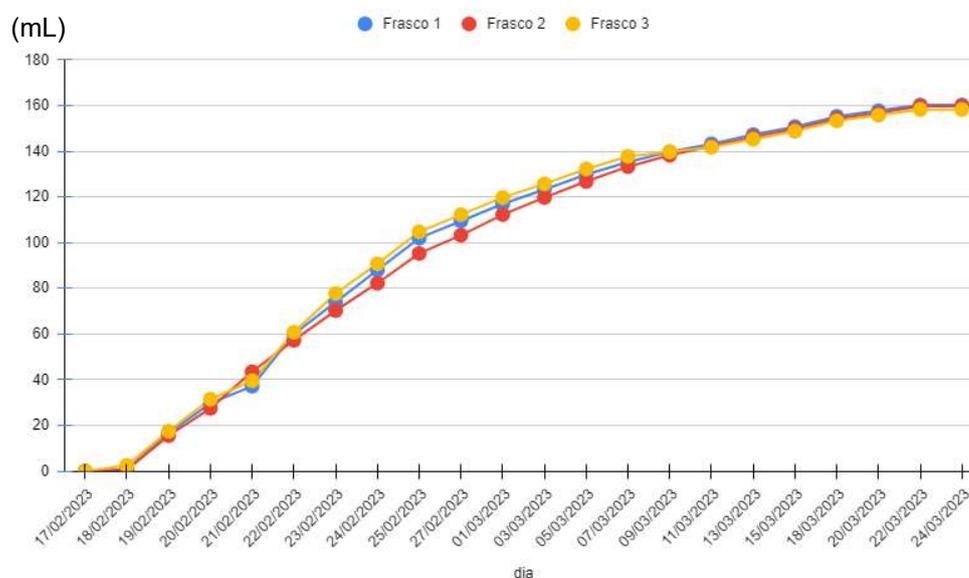


Tabela 16: Percentuais para biogás de suínos utilizados padrão

<b>Padrão</b>	<b>CH4</b>	<b>CO2</b>	<b>H2S</b>
Porcentagem	65	29,9	0,699

Os valores padrão utilizados para cálculo de novas análises foram obtidos a partir de dejetos de suínos e produzidos em ambiente controlado a 35° C no laboratório da UTFPR, campus Medianeira.

### 5.5. PRODUÇÃO DE BIOGÁS NO SISTEMA DE AQUAPONIA

Após o período de 36 dias o gás foi retirado do biodigestor usando um balão de festas. O volume recolhido foi de 20350 mL calculado conforme a equação (5).

Como método de comparação foi usado o volume do ensaio PBM que produziu cerca de 18ml/ml (mililitros de biogás, por mililitros de dejetos) . Na produção de biogás no sistema de aquaponia foi cerca de 10ml/ml. O valor inferior é devido ao fato de que o ensaio foi realizado em ambiente controlado com temperatura constante de 35°C, já no biodigestor a temperatura média registrada foi de 23°C.

## 5.6. ANÁLISE ESTATÍSTICA

O teste estatístico escolhido foi o ANOVA, um método usado para comparar as variâncias entre as médias de diferentes grupos de dados. Através deste teste é possível descartar, ou não, a hipótese de que as médias dos conjuntos são diferentes. Esta análise permitiu avaliar se houve diferença no desempenho da produção de biogás associada à presença do inóculo.

A Tabela 17 mostra o resumo dos dados do teste ANOVA, referente a pressão dos reatores, considerando a adição do inóculo aos dejetos, e a Tabela 18 apresenta o resultado do teste ANOVA.

Tabela 17: Resumo dos dados de pressão dos diferentes substratos

	<i>Amostras</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
Dejeto+ Inóculo	Frasco 1	20	224,18	11,21	103,41
	Frasco 2	20	213,28	10,66	100,63
	Frasco 3	20	228,86	11,44	97,77
	<i>Amostras</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
Dejeto	Frasco 1	22	425,89	19,35	125,22
	Frasco 2	22	406,07	18,45	231,7
	Frasco 3	22	444,17	20,189	147,73
	<i>Amostras</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
Inóculo	Frasco 1	22	172,5	7,84	118,91
	Frasco 2	22	55,09	2,50	8,5
	Frasco 3	22	85,96	3,90	43,42

Seguindo o conceito do teste estatístico ANOVA, definido por Fisher (1990), que diz que se  $F$  for maior que  $F$  crítico e valor de  $P$  menor que 0,05 não é descartada a hipótese alternativa que diz que as médias dos conjuntos de dados são diferentes, é possível afirmar então que as médias das pressões dos reatores de todos os substratos não possuem diferença significativa, ou seja, hipótese nula. Esse resultado infere que o inóculo (variável independente) não é um fator significativo que influencia na produção de biogás.

Tabela 18: Resultados do Teste estatístico ANOVA para os diferentes substratos

Dejeto+ Inóculo						
Fonte de variação	SS	df	MS	F	P-value	F crítico
Entre grupos	6,4	2	3,19	0,03	0,96	3,16
Dentro dos grupos	5489,85	57	96,31			
Total	5496,24	59				
Dejeto						
Fonte de variação	SS	df	MS	F	P-value	F Crítico
Entre grupos	33,01	2	16,5	0,1	0,9	3,14
Dentro dos grupos	10598,1	63	168,22			
Total	10631,11	65				
Inóculo						
Fonte de variação	SS	df	MS	F	P-value	F Crítico
Entre grupos	336,78	2	168,39	2,96	0,06	3,14
Dentro dos grupos	3587,77	63	56,95			
Total	3924,55	65				

## 5.7. DEMANDA ENERGÉTICA

O sistema é composto por uma bomba d'água periférica modelo Ferrari Acquapump de 370W e 127 V, um microcontrolador Arduíno Mega que consome 200mW e uma placa ESP32 cuja o consumo é de 2,5  $\mu$ A.

Realizando as conversões de potência para energia (Equação 7) e considerando o tempo de funcionamento mensal de 30 dias e 24 h diárias de cada componente do sistema, foi obtido para o Arduíno 0,2 W e para o ESP32, assumindo uma tensão de 3,3 V, foi obtido o valor de 8,25 $\mu$ W.

Na sequência foi calculada a demanda energética mensal para cada componente. Para o Arduíno foi obtido o valor de 0,144kWh, para o ESP32 0,00000594kWh e para bomba d'água 266,4kWh.

A demanda energética total do sistema é de aproximadamente 266,54 kWh mensal ou 8,88 kWh diária.

Para atender a uma demanda energética diária de 8,88 kWh com um gerador

movido a biogás, que segundo manuais, possui eficiência de 30% e levando em consideração o poder calorífico do biogás de 5500 kcal/Nm<sup>3</sup>, conforme apresentado na Tabela 1, é necessário um gerador capaz de utilizar aproximadamente 5,387 Nm<sup>3</sup> de biogás por dia, calculado a partir da Equação 8.

Em contato com empresas fornecedoras de geradores a gás, foi obtida a informação de que o menor gerador a biogás é, em média, de 32Kw com consumo de 7,2m<sup>3</sup>/dia de biogás. Desta maneira fica claro que a produção de biogás não atende as exigências do gerador.

Com base no volume de biogás de 20350 mL ou 0,02035 m<sup>3</sup>, produzidos no prazo de 36 dias e sabendo que o biogás normalmente contém impurezas como água, compostos de enxofre, compostos orgânicos voláteis, poeira e outras partículas que precisam ser filtradas para o uso eficiente do biogás em sistemas de produção de energia e que, segundo Canaver (2017), neste processo espera-se que ocorra uma perda de volume de biogás entre 5% e 20%, não é possível a autossustentabilidade em tempo integral do sistema, Tanto pela pouca produção de biogás quanto pela quantidade de metano exigida pelo gerador.

Duas soluções surgiram durante o estudo, a primeira torna o sistema parcialmente autossustentável que é armazenar gás e usar o gerador até que o gás acabe. Outra solução é aumentar a escala do sistema para produzir a quantidade de biogás necessária para manter o gerador funcionando por 24 horas/dia.

Existem problemas em ambas as soluções, na primeira deve ser levado em consideração o custo-benefício. Um gerador com a capacidade necessária custa em média R\$1.500 reais, cotados em julho de 2023, o sistema todo custa em média R\$150 mensais em energia, com base no preço do kW/hora da Copel que atualmente é de R\$0,57. Seria necessário 10 meses de uso do gerador para que o investimento se torne viável, tendo em vista que hipoteticamente, o gerador é utilizado por 30 dias a cada 5 meses levaria em torno de 4 anos para pagar pelo investimento.

No segundo caso o sistema deve aumentar a produção de resíduos para que possa ser gerado mais gás. Os geradores encontrados consomem de 0,20m<sup>3</sup> a 0,50m<sup>3</sup> de biogás por hora. O sistema em sua configuração atual possui 50 peixes e um biodigestor de 2L. Para que a quantidade necessário de gás fosse gerada em 30 dias é estimado, com base na proporção, um biodigestor com capacidade para 800L, sendo que deste 160 Kg (20%) de resíduo de peixe, conseqüentemente para atingir mais resíduo são

necessários mais peixes, mais ração e mais água tornando assim o sistema inviável devido aos custos.

Outro fator que agrega custos mas que não tratado neste trabalho é a filtragem e purificação do gás que consistem em remover as impurezas do gás, pois compostos como vapor de água podem danificar o gerador pela oxidação e corrosão.

## 6. CONCLUSÃO

A produção de 10ml de biogás por mililitro de resíduo produzido pelo sistema de aquaponia é insuficiente para alimentar um gerador de energia, mesmo de pequena capacidade. Ainda que o percentual de metano seja de 59% é insuficiente para que possa ser utilizado para produção de energia elétrica.

O módulo de aquaponia, decantador e biodigestor construídos passaram por vários protótipos até o modelo atual. Para incluir o decantador e o biodigestor no módulo de aquaponia foram necessárias alterações, como por exemplo, a água que normalmente sai do tanque de peixes, passa pelo biofiltro e é levado para as plantas, precisou ser desviado para o decantador e depois para o biofiltro. A quantidade de resíduo acumulado no decantador foi consideravelmente menor que a estimada na Tabela 8, possivelmente por grande parte dos dejetos ser diluída na água e também nem todo dejetos era decantado mas sim levado pelo fluxo da água e retido no biofiltro. Um modelo mais eficiente de decantação é necessário ser avaliado para reter maior quantidade de dejetos.

Os desafios na construção do biodigestor foram desde definir o melhor modelo para que a automação pudesse ser incluída facilmente e a vedação. Com pouca produção de dejetos o biodigestor, para sistemas de aquaponia, deve ser projetado com base na biomassa, ou seja, quantidade de peixes. O sistema deste estudo com 50 peixes, com média de peso de 180g apresentou retenção média de 400mL de dejetos a cada 40 dias, que de acordo com a tabela de diluição (Tabela 4) é necessário 600ml de água, fazendo com que a capacidade de dejetos no biodigestor seja de 2L. Um biodigestor maior não resolve pois após o período de 40 dias o biogás para de ser produzido precisando de uma nova carga no biodigestor.

Apesar de uma pequena demanda energética pelo sistema todo, usar o biogás produzido para gerar energia é inviável. O baixo consumo mensal de energia elétrica, a pouca produção de biogás e o preço de geradores são motivos que não viabilizam a autossustentabilidade energética.

Por ter apresentado um resultado negativo para o principal objetivo deste estudo, ainda é possível fazer bom uso do biogás produzido para queima e com isso usar como aquecimento tanto para água do sistema e do biodigestor em períodos de frio. O estudo também contribui com o meio ambiente dando um destino ecologicamente correto para os

resíduos da aquaponia, mesmo que o digestato precise ser analisado para saber se pode ou não ser tóxico para os peixes, o seu descarte no meio ambiente não apresenta riscos devido a biodegradabilidade sofrida durante a digestão anaeróbia.

#### 6.1. SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Como comprovado, é inviável a produção de energia pelo sistema de aquaponia utilizado neste estudo, porém, um possível destino ao biogás é o de utilizar para fins de combustão onde a filtragem é mais simples e não há necessidade de gerador. A combustão pode ser útil para o sistema para aquecimento da água dos peixes e também para aquecimento do biodigestor.

Outro estudo que precisa ser feito é do digestato, como a intenção é utilizar como biofertilizante é necessário saber se a composição não é prejudicial aos peixes e se contribui para o cultivo das hortaliças, uma vez que estas já se beneficiam dos resíduos dos peixes que circulam junto com a água.

## 7. REFERÊNCIAS

ALFARO, C., Aquaponia em sua casa, São Paulo: Aquaponica .2013

ALVES D., PEIXOTO M., ROSA T., Internet Das Coisas (IoT): Segurança e Privacidade dos Dados Pessoais. RJ: Alta Books, 2021

AQUACULTURE BRASIL. Aquaponia Brasil– O que o futuro nos aguarda?.2016. Disponível em: <https://www.aquaculturebrasil.com/artigo/22/aquaponia-no-brasil-o-que-futuro-nos-aguarda>. Acesso em: 12 de novembro de 2022.

ARDUÍNO. Placa Mega 2560 R3 | Desenvolva projetos mais avançados. Disponível em: <http://www.arduino.cc/>. Acesso em: 11 de novembro de 2022

BANERJEE, A. Thermoconomics, cost benefit analysis, and a novel way of dealing with revenue generating dissipative units applied to candidate decentralised energy systems for Indian rural villages. Energy. , 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544212001934>. Acesso em: 28 de outubro de 2022.

BIASI, C.A.F. et al, Energias renováveis na área rural da região sul do Brasil, Curitiba:ITAIPU. 2018 Disponível em: [https://repositorio.pucrs.br/dspace/bitstream/10923/20964/2/Energia\\_Solar\\_Fotovoltaica.pdf](https://repositorio.pucrs.br/dspace/bitstream/10923/20964/2/Energia_Solar_Fotovoltaica.pdf). Acesso em : 12 de outubro de 2022.

BUSARELLO, C. J., ARNOLD, S. C. S. , Monitoramento automatizado de tanque biodigestor integrado aum sistema de aquaponia, IFPR, 2023.

CAMPOS A. T., Análise da viabilidade de reciclagem de dejetos de bovinos com tratamento biológico, em sistema intensivo de produção de leite, Universidade Estadual Paulista,1997

CANAVER, V. B., Estudo de filtragem de biogás para fins energéticos utilizando como método de filtragem lavador de gases de baixo custo , 2017

CARNEIRO, P., MARIA, A., FUJIMOTO, R.; NUNES, M, Sistema familiar de aquaponia emcanaletas. : INFOTECA, 2016

CRIBARI, B. S., Secagem térmica do Lodo de Esgoto Gerado em uma estação de tratamento do tipo UASB + Biofiltro Aerados Submersos, :,2004

DEGANUTTI et. al. 2002: DEGANUTTI, R., PALHACI, M. C. J. P., ROSSI, M. , Biodigestores rurais: modelo indiano, chinês e batelada, 2002

DORF, R. C; BISHOP, R. H., Sistemas de controle modernos. Rio de Janeiro: Livros

Técnicos e Científicos,

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Qualidade da Carne  
Disponível em: <https://www.embrapa.br/qualidade-da-carne>. Acesso em: 28 de outubro de 2022.

FILHO, E. Z. , Tratamento de efluentes da piscicultura (2005), Florianópolis. Disponível em: <https://lapad.ufsc.br/>. Acesso em: 28 de outubro de 2022.

FILIPEFLOP. Sensor de Pressão e Temperatura BMP180, Disponível em: <https://www.filipeflop.com/>. Acesso em: 11 de novembro de 2022

FILIPEFLOP. Sensor de Pressão e Temperatura BMP180.,Disponível em: <https://www.filipeflop.com/>. Acesso em: 11 de novembro de 2022

FISHER R.A , Statistical Methods, Experimental Design, and Scientific Inference. USA: Oxford University Press,1990

FONSECA, F. S. T, et al., Análise de Viabilidade Econômica de Biodigestores naAtividade de Suinocultura na Cidade de Balsas - MA: um Estudo de Caso.,Maranhão: SOBER ,v 1, ed.1 ,p. 1-19 .2009

FURTADO, A.C., RODAS, D.P.V, ALMEIDA, H.C, NIERADKA, I.P, BOTTON,J.P, MITO, J.Y.L, FRIGO, J.P, SOMER, J,G, LINS, L.P, BOROSKI, M, BECKER, M.R, GUERI, M.V.D, COLDEBELLA, P.F, ARANGO, V.V, Fundamentos de Digestão Anaeróbia - Conceitos e Processos. : Brazil publishing,2020

GUERI, V.D.G., FURTADO, A.C., SCHIRMER, W.N., KUCZMAN, O. Análise de estabilidade de um protótipo de biodigestor anaeróbio mesofílico digerindo resíduo alimentar . Revista Geama, 7(3), 05–12. Recuperado de <https://www.journals.ufrpe.br/index.php/geama/article/view/4298>

HENRIQUES, G.C, Sistemas responsivos: relevância, estado da arte edesenvolvimentos, Slovênia: cumincad, ed. 19, v. 5, p. 1-7. 2015

HUNDLEY, G.C ; NAVARRO, R.D. , Aquaponia: a integração entre piscicultura e a hidroponia. Viçosa : Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável, v. 3, n. 2 , 52-61. 2013

INOUE, K.R.A, Produção de biogás, caracterização e aproveitamento agrícola do biofertilizanteobtido na digestão da manipueira.Fiçosa: UFV,2008

JUNIOR, J. C. A, Estimativa da produção de biogás a partir de dejetos suínos,UNILA, 2009

KAFLE G.K, KIM S.H. Evaluation of the Biogas Productivity Potential of Fish Waste: A Lab

Scale Batch Study. *Journal of Biosystems Engineering* [Internet]. 2012 Oct 31;37(5):302–13. Available from: <https://doi.org/10.5307/JBE.2012.37.5.302>

KHALID, A., ARSHAD, M., ANJUM, M., & MAHMOOD, T., The anaerobic digestion of solid organic waste. *National Library of Medicine., Rockville Pike: Waste Management* , ed. 1, p. 1737-1744. 2011.

KUNZ, A. STEINMETZ, R. L. R. AMARAL, A. C. do, *Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato*. : EMBRAPA, 2019

LANSING, S.; BOTERO, R. B.; MARTIN, J. F., *Waste treatment and biogas quality in small-scale agricultural digesters*. *Bioresource Technology*, Amsterdã: Elsevier, v.99, p. 5881-5890. 2008

LIMA, A. C. G., PASSAMANI, F. C., *Avaliação do potencial energético do biogás produzido no reator UASB da ETE - UFES*, : Universidade Federal do Espírito Santo, 2012

LIMA, F. L. T., SILVA, R. J. S., SANTOS, F. A., BARBOSA, S. S., BARROS, J. P., *Produção e análise de biogás em perspectiva futura para geração de energia elétrica*, São José dos Pinhais, ed. 4 v. 5, 1-8p. 2021.

MACHADO, S. T. et al., *Geração de Biogás com Dejetos Provenientes da Piscicultura*, 2013. Disponível em: [http://www.advancesincleanerproduction.net/fourth/files/sessoes/5b/6/machado\\_et\\_al\\_work.pdf](http://www.advancesincleanerproduction.net/fourth/files/sessoes/5b/6/machado_et_al_work.pdf). Acesso em: 28 de outubro de 2022

MAHONEY, K. D. *Latin Dictionary and Grammar Resources*. , 2021. Disponível em: <https://latin-dictionary.net/> . Acesso em: 28 de outubro de 2023

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Distrito Federal. Disponível em <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias> Acesso em: 28 de outubro de 2022.

MITO, J. Y. de L. et. al., *Metodologia para estimar o potencial de biogás e biometano a partir de plantéis suínos e bovinos no Brasil*.; EMBRAPA, 52 p. .2018

MYSQL. MySQL products. Disponível em: <http://mysql.com/>. Acesso em: 23/06/2022

NIERADKA, Itamar Pena, PHP. *Estruturado, Orientado a Objetos e Padrões de Projeto*. PHP. *Estruturado, Orientado a Objetos e Padrões de Projeto*. Rio de Janeiro: Nova Terra, 2017

NOGUEIRA, L. A. H., *Biodigestão: a alternativa energética*. São Paulo: Nobel, 1986

OWEN, W. F.; STUCKEY, D. C.; HEALY, J. B.; YOUNG, L. Y.; McCARTY, P. L., *Bioassay for monitoring biochemical methane potential and anaerobic toxicity*., Great Britain: Water

Research, ed.13, 485-492.1979

PEIXE BR. Anuário 2020:.. Pinheiros, 2020. Disponível em: <https://www.peixebr.com.br/anuario-2020/>. Acesso em: 28 de outubro de 2022.

PORTAL DO BIOGÁS. Como transformar lixo orgânico em energia?. Rio Grande do Sul. 2020. Disponível em: <https://www.portaldobiogas.com/>. Acesso em: 30 DE OUTUBRO DE 2022

REVISTA OESTE, Produção de peixe cresce quase 5% no Brasil em 2021. São Paulo, 2022. Disponível em: <https://revistaoeste.com/brasil/producao-de-peixe-cresce-quase-5-no-brasil-em-2021/>. Acesso em 12 de setembro de 2022.

RIBEIRO, P.A.P. et al. Manejo Alimentar em Piscicultura Convencional, 2010. Disponível em: [www.nutritime.com.br](http://www.nutritime.com.br). Acesso em: 28 de outubro de 2022

ROGGIA, L., FUENTES, L.C., Automação Industrial. Santa Maria: UFSM,2016

SALAM, B.; BISWAS, S.; DAS, T. K. Biogas from thermophilic anaerobic digestion of cow dung. Anais... In: International Conference on Mechanical Engineering, Dhaka, Bangladesh. 2011

SANTOS, P. Guia técnico de biogás. CCE- Centro para a Conservação de Energia. Guia Técnico de Biogás. AGEEN - Agência para a Energia, Amadora, Portugal, 2000. 117 p.

SHAFIRIFNIA, S., KHADIVI, M.A., YASER, T.S., Characterization, isotherm and kinetic studies for ammonium ion adsorption by light expanded clay aggregate (LECA),: Journal of Saudi Chemical Society, 20, , S342-S351.2016

SHUBEITA F., WEBBER T.r, FERNANDES R., MARCON C., Um Estudo sobre Monitoramento e Controle de Biodigestores de Pequena Escala, PUC-RS, 2014

SILVA, M. Z. M., Dimensionamento de Biodigestores Batelada através do Método Primal Dual Barreira Logarítmica,: V. 4, , , .2017

SILVA, R.C., Planejamento e Projeto Agropecuário. São Paulo: Saraiva ,2018

SOETHE, G. C., Aproveitamento da massa visceral da tilápia (*Oreochromis niloticus*) para produção de biogás. UNIOESTE, 2014

SOUSA, J.R.S., ROBRA, S., GARCIA, C.M., CRUZ, R.S., OLIVEIRA, A.M., Avaliação da produção de biogás a partir de resíduos da cadeia produtiva do biodiesel de pinhão manso., Sociedade Brasileira de Química - SBQ, p. 1-2. 2009

SOUZA, C. F., CARVALHO, C. C. S., CAMPOS J. A., MATOS A. T., FERREIRA, W. P. M., Caracterização de dejetos de suínos em fase de terminação, MG: CERES, ed. 52 , v. 2

, p. 128-133 .2009

SOUZA, F. M.; VIANA, E.; JAEGER, J. M. S.; CANDIANI, G.; SIMÕES, A. F.; FONSECA FILHO, H., Influência do inóculo na codigestão anaeróbia de resíduos alimentares e grama.,: Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais, 11, 146 -156. 2020

STEINMETZ, R. L. R.; KUNZ, A.; AMARAL, A. C. DO; SAORES, HUGO, M.; SCHMIDT, T.; WEDWITSCHKA, H., Suggested method for mesophilic inoculum acclimation to BMP assay.,: XI Simposio Latinoamericano de Digestión Anaeróbia, 2012, La Habana, Cuba, 11, 1-8. 2012

STRAUB M. G., SENSOR DE PH ARDUINO: COMO CALIBRAR E CONFIGURAR?, Disponível em: <https://www.usinainfo.com.br/blog/sensor-de-ph-arduino-como-calibrar-e-configurar/> Acesso em: setembro de 2022.

TOLMASQUIM, M. T. . Novo modelo do setor elétrico brasileiro. Brasil: Synergia. 2011

WELDSOON, L., Um breve histórico da automação industrial e redes para automação industrial, UFRN. 2003

## 8. ANEXOS 1

Código para realizar leituras dos sensores instalados no biodigestores

```
#include <Wire.h> //INCLUSÃO DE BIBLIOTECA
#include <Adafruit_BMP085.h> //INCLUSÃO DE BIBLIOTECA
int smokeA5 = A5; // SENSOR MQ2
int ph_pin = A0; // SENSOR PH SONDA
float tensao, pa_psi;
Adafruit_BMP085 bmp; //OBJETO DO TIPO Adafruit_BMP085 (I2C)
void setup(){
    Serial.begin(9600); //INICIALIZA A SERIAL
    Serial.println("Sensores ativos: BMP180 + MQ2 + PH-4502C
");
    pinMode(smokeA5, INPUT);
    if (!bmp.begin()){ //SE O SENSOR NÃO FOR INICIALIZADO, FAZ
        Serial.println("Sensor BMP180 não foi identificado!
Verifique as conexões."); //IMPRIME O TEXTO NO MONITOR SERIAL
        while(1){} //SEMPRE ENTRE NO LOOP
    }
}
void loop(){
//***** Início Gás *****
    int analogSensor = analogRead(smokeA5);
    Serial.print("Gas: ");
    Serial.println(analogSensor);
//***** Início pH *****
    int measure = analogRead(ph_pin);
    Serial.print("Measure: ");
    Serial.print(measure);
    double voltage = 5 / 1024.0 * measure; //classic digital to
voltage conversion
    Serial.print("\tVoltage: ");
    Serial.print(voltage, 3);
```

```

float Po = 7 + ((2.5 - voltage) / 0.18);
Serial.print("\PH: ");
Serial.print(Po, 3);
//***** Início Temperatura *****
    Serial.print("Temperatura: "); //IMPRIME O TEXTO NO
MONITOR SERIAL
        Serial.print(bmp.readTemperature()); //IMPRIME NO MONITOR
SERIAL A TEMPERATURA
            Serial.println(" *C (Grau Celsius)"); //IMPRIME O TEXTO
NO MONITOR SERIAL
//***** Início Pressão *****
    Serial.print("Pressão a nível do mar (calculada): ");
//IMPRIME O TEXTO NO MONITOR SERIAL
        pa_psi = bmp.readSealevelPressure()*0.000145038;
        Serial.print(pa_psi); //IMPRIME NO MONITOR SERIAL A
PRESSÃO A NÍVEL DO MAR
            Serial.println(" PSI ( Pound Force per Square
Inch)"); //IMPRIME O TEXTO NO MONITOR SERIAL

Serial.println("-----"); //IMPRIME
UMA LINHA NO MONITOR SERIAL
        delay(5000); //INTERVALO DE 2 SEGUNDOS
    }

```

### Código para conexão com Wifi e envio dos dados para o banco de dados

```

#include <WiFi.h>
#include <PubSubClient.h>
#include <String.h>
const char* ssid = "[inserir o SSID do wifi]";
const char* password = "";
const char* mqttServer = "[URL do MQTT]";
const int mqttPort = 1883;
const char* mqttUser = "[e-mail do usuário]";

```

```

const char* mqttPassword = "[senha]*";
#define RXp2 16
#define TXp2 17
WiFiClient espClient;
PubSubClient client(espClient);
char mensagem[30];
String valor, v1, v2, v3, v4;
int x1,x2,x3,x4;
void setup()
{
  Serial.begin(115200);
  Serial2.begin(9600, SERIAL_8N1, RXp2, TXp2);
  WiFi.begin(ssid, password);
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(500);
    Serial.println("Iniciando conexao com a rede WiFi..");
    Serial.println(WiFi.status());
  }
  Serial.println("Conectado na rede WiFi!");
  reconectabroker();
}
void loop()
{
  // reconectabroker();
  if(Serial2.available()>0){
    String nome = Serial2.readString();
    nome += ',';
    Serial.print(nome);
    int c = 0;
    String v[4];
    String aux;
    for(int x=0;x<nome.length();x++){
      if (nome[x]!=','){
        aux += nome[x];

```

```

        }else{
            v[c] = aux;
            c++;
            aux = "";
        }
    }
    sprintf(mensagem, "%s", v[0]);
    client.publish("charles.busarello@ifpr.edu.br/gas",
mensagem);
    sprintf(mensagem, "%s", v[1]);
    client.publish("charles.busarello@ifpr.edu.br/ph",
mensagem);
    sprintf(mensagem, "%s", v[2]);
    client.publish("charles.busarello@ifpr.edu.br/pressao",
mensagem);
    sprintf(mensagem, "%s", v[3]);
    client.publish("charles.busarello@ifpr.edu.br/temp",
mensagem);
    }
    delay(2000);
}
void reconectabroker(){
    //Conexao ao broker MQTT
    client.setServer(mqttServer, mqttPort);
    while (!client.connected()) {
        Serial.println("Conectando ao broker MQTT...");
        if (client.connect("ESP32Client", mqttUser,
mqttPassword )) {
            Serial.println("Conectado ao broker!");
        }
        else {
            Serial.print("Falha na conexao - Estado: ");
            Serial.print(client.state());
            delay(10000);
        }
    }
}

```

```
}  
}  
}
```

## 9. ANEXO 2

Código do aplicativo escrito em PHP, HTML, JavaScript e CSS

### 9.1. PÁGINA INDEX.PHP

```
<?php include 'cabecalho.php'; ?>
<!doctype html>
<html lang="en">
<head>
  <link rel="stylesheet" type="text/css" href="../css/estilo.css" media="screen" />
  <meta charset="UTF-8">
  <meta name="viewport"
    content="width=device-width, user-scalable=no, initial-scale=1.0, maximum-
scale=1.0, minimum-scale=1.0">
  <meta http-equiv="X-UA-Compatible" content="ie=edge">
  <title>Projeto Biogás</title>

</head>
<body>

<table>
  <tr id="cabecalho">
    <td>Dias em produção</td>
    <td>
      <?php
date_default_timezone_set('America/Sao_Paulo');
require '../dao/DadosDAO.php';
require '../model/Dados.php';
$dao= new DadosDAO();
$data_inicio = new DateTime($dao->buscaDataBatelada());
$data_fim = new DateTime(Date('Y-m-d'));
$dateInterval = $data_inicio->diff($data_fim);
echo $dateInterval->days. "dias";
```

```

        $dados=$dao->buscaUltimaLeitura();
        $data_f=explode('-', $dados['data']);
        $obj= new Dados();
        $obj->setGas(350);
        $obj->setPh(7);
        $obj->setPressao(20);
        $obj->setTemp(29);
        $dao->save($obj);
        ?>
    </td>
</tr>
</table>
<br>
<table class="dados">
    <tr id="biodigestor">
        <td colspan="2">Dados do biodigestor</td>
    </tr>
    <tr>
        <td>Gás</td>
        <td><?php echo $dados['gas'] ?></td>
    </tr>
    <tr>
        <td>pH</td>
        <td><?php echo $dados['ph'] ?></td>
    </tr>
    <tr>
        <td>Temperatura</td>
        <td><?php echo $dados['temp'] ?></td>
    </tr>
    <tr>
        <td>Pressão</td>
        <td><?php echo $dados['pressao'] ?> </td>
    </tr>

```

```

</table>
<?php

echo "<p>*Dados coletados dia ". $data_f[2]."/".$data_f[1]."/".$data_f[0]." às ".
$dados['hora']." horas</p>";
echo "<div id='relogio'></div>";
echo "<p><button><a href='relatorioGeral.php'>Relatório Geral</a></button></p>";
echo "<p><button><a href='relatorioMes.php'>Relatório por mês</a></button></p>";
echo      "<p><button><a      href='relatorioPeriodo.php'>Relatório      por
período</a></button></p>";
echo "<p><button><a href='sobre.php'>Sobre o projeto</a></button></p>";
?>

</body>
</html>
<script src="../script/script.js"></script>

```

## 9.2. CÓDIGO PARA MANIPULAÇÃO DE DADOS NO BANCO DE DADOS

```

<?php
include '../view/cabecalho.php';
require '../control/Conexao.php';

class DadosDAO
{
    private $pdo;
    public function __construct()
    {
        $this->pdo=Conexao::conectar();
    }
    public function buscaDataBatelada(){
        $consulta = $this->pdo->query("SELECT * FROM biogas ORDER BY biogas.inicio
DESC ");

```

```

        $linha = $consulta->fetch(PDO::FETCH_ASSOC);
        return $linha['inicio'];
    }
    public function buscaPeriodo($inicio, $fim){
        $consulta = $this->pdo->query("SELECT * FROM biogas WHERE data BETWEEN
        ".$inicio." AND ".$fim." ORDER BY data DESC");
        $linha = $consulta->fetchAll(PDO::FETCH_ASSOC);
        return $linha;
    }
    public function buscaMesAtual(){
        $consulta = $this->pdo->query("SELECT * FROM biogas WHERE
        month(data)=MONTH(NOW())");
        $linha = $consulta->fetchAll(PDO::FETCH_ASSOC);
        return $linha;
    }
    public function buscaGeral(){
        $consulta = $this->pdo->query("SELECT * FROM biogas ORDER BY biogas.id DESC
        ");
        $linha = $consulta->fetchAll(PDO::FETCH_ASSOC);
        return $linha;
    }
    public function buscaUltimaLeitura(){
        $consulta = $this->pdo->query("SELECT * FROM biogas ORDER BY biogas.id DESC
        ");
        $linha = $consulta->fetch(PDO::FETCH_ASSOC);
        return $linha;
    }
    public function save(Dados $dados){
        $data=Date('Y-m-d');
        $hora= Date('H:i:s');
        if(!isset($dados->getInicio)) {
            $sql = "INSERT INTO biogas (ph, temp,pressao, gas, data, hora) VALUES

```

```

(?,?,?,?,?)";
        $this->pdo->prepare($sql)->execute(array(
            $dados->getPh(),
            $dados->getTemp(),
            $dados->getPressao(),
            $dados->getGas(),
            $data,
            $hora));
    }
    else {
        $sql = "INSERT INTO biogas (inicio, ph, temp,pressao, gas, data, hora) VALUES
(?,?,?,?,?,?)";
        $this->pdo->prepare($sql)->execute(array(
            $dados->getInicio(),
            $dados->getPh(),
            $dados->getTemp(),
            $dados->getPressao(),
            $dados->getGas(),
            $data,
            $hora));
    }

}
}
}

```

### 9.3. CONEXÃO COM BANCO DE DADOS

```
<?php
```

```
class Conexao
{
```

```

private static $conn;
public static function conectar(){
    try {
        $conn = new PDO('mysql:host=sql10.freemysqlhosting.net;dbname=sql10631193',
'sql10631193', 'ML1gxHFlyF');
        $conn->setAttribute(PDO::ATTR_ERRMODE, PDO::ERRMODE_EXCEPTION);

    } catch
(PDOException $e) {
        echo 'ERROR: ' . $e->getMessage();
    }
    return $conn;
}
}

```

#### 9.4. SCRIPT PARA TIMER DE INSERÇÃO DE DADOS EM BANCO DE DADOS

```

const horaCerta = () => {
    const clock = document.getElementById('relogio')
    const date = new Date()
    const hours = date.getHours()
    const minutes = date.getMinutes()
    const seconds = date.getSeconds()
    const hour = hours < 10 ? `0${hours}` : hours
    const minute = minutes < 10 ? `0${minutes}` : minutes
    const second = seconds < 10 ? `0${seconds}` : seconds
    if(hours >= 0 && hours < 6){
        txt=6;
    }else if(hours >= 12 && hours < 18){
        txt=18;
    }else if(hours >= 18 && hours < 23){
        txt=00;
    }
}

```

```

}else if(hours >= 6 && hours < 12){
    txt=12;
}
if((hours==0 || hours==6 || hours==12 || hours==18) && minutes==0 && seconds==0){
    window.location.reload(true);
}
    clock.innerHTML = `

${hour}:${minute}:${second} - Próxima leitura as ${txt}
horas</p>`
}

setInterval(() => {
    horaCerta()
}, 1000)


```

## 9.5. FOLHA DE ESTILOS

```

table{
    margin: 0 auto;
}
img{
    width: 200px;
    height: 200px;
    float:right;
    margin-right:0;
    margin-left:10px;
    margin-bottom:5px;
}
a{
    text-decoration: none;
    color:#FFFF00;
}
button{
    background:#4B0082;
    width: 50%;

```

```
font-size: clamp(1em, 1em + 1vw, 1.5em);
color:#FFFF00;

}
input{
  background:#4B0082;
  width: 50%;
  font-size: clamp(1em, 1em + 1vw, 1.5em);
  color:#FFFF00;

}
table td {
  margin: 0 auto;
  width: 50%;
  font-size: clamp(1em, 1em + 1vw, 1.5em);
  color:#FFFF00;
  text-align: center;
}
table #cabecalho{
  background:#4B0082;
  color: #FFFFFF;
}

table #biodigestor{
  background:#4B0082;
  color: #FFFFFF;

}
.dados td{
  border: 1px solid black;
}
body{
  background:#7B68EE
```

```
}  
p{  
  font-size: clamp(1em, 1em + 1vw, 1.5em);  
  color:#FFFF00;  
  text-align: center;  
  
}
```

## 1. APÊNDICE 1 – CÁLCULOS PARA DIMENSIONAMENTO DO BIODIGESTOR E PROPORÇÃO DE DEJETO E ÁGUA

Amostras para codigerir	Massa utilizada na codigestão (g)	ST (%)	ST (g)	% de cada amostra
peixe	40	63	25,200	19,05%
água	170	0	0,000	80,95%
Total	210	12,00%	25,200	

peixes	50
Dejetos diários por peixe(g)	0,8
Biodigestor (L)	2
Alimentação (L)	1,4
Dejetos (L)	0,27
água (L)	1,13
Gás	0,60
Dias	7

Dias para produção necessária de dejetos

## 2. APÊNDICE 2 – LEITURAS DE VOLUME (ML) E PRESSÃO (KPA) PARA O ENSAIO BIOQUÍMICOS

17/02		11:00		
ADI				
	Frasco 1	Frasco 2	Frasco 3	Soma (atual +anterior)
pressão (kpa)	-8,05	1,5	-14,8	-21,35
volume (ml)	0	0	0	0,00
ACI				
	Frasco 1	Frasco 2	Frasco 3	Soma (atual +anterior)
pressao	-20	-13,8	4,08	-29,72
volume (ml)	0	0	3	3,00
AD				
	Frasco 1	Frasco 2	Frasco 3	Soma (atual +anterior)
pressão (kpa)	-18,51	-23,89	-8,58	-50,98
volume (ml)	0	0	0	0,00
AI				
	Frasco 1	Frasco 2	Frasco 3	Soma (atual +anterior)
pressão (kpa)	-25,56	-12	-6,5	-44,06
volume (ml)	0	0	0	0,00

19/02		11:00		
ADI				
	Frasco 1	Frasco 2	Frasco 3	Soma (atual +anterior)
pressão (kpa)	16	7	11	36,23
volume (ml)	16	15	15	49,70
ACI				
	Frasco 1	Frasco 2	Frasco 3	Soma (atual +anterior)

18/02		11:00		
ADI				
	Frasco 1	Frasco 2	Frasco 3	Soma (atual +anterior)
pressão (kpa)	10,4	8,7	4,4	2,15
volume (ml)	0,7	0,5	2,5	3,70
ACI				
	Frasco 1	Frasco 2	Frasco 3	Soma (atual +anterior)
pressao	30,5	2,74	30,11	33,63
volume (ml)	25	0,5	25	53,50
AD				
	Frasco 1	Frasco 2	Frasco 3	Soma (atual +anterior)
pressão (kpa)	-10,3	-15,41	3,6	-73,09
volume (ml)	0	0	0,3	0,30
AI				
	Frasco 1	Frasco 2	Frasco 3	Soma (atual +anterior)
pressão (kpa)	-16,43	-0,26	-0,54	-61,29
volume (ml)	0	0	0	0,00

20/02		11:00		
ADI				
	Frasco 1	Frasco 2	Frasco 3	Soma (atual +anterior)
pressão (kpa)	9,11	2,95	13,12	61,41
volume (ml)	13	12	14	88,70
ACI				
	Frasco 1	Frasco 2	Frasco 3	Soma (atual +anterior)

pressao	59	45	57	195,23
volume (ml)	42	36	44	175,50
AD				
	Frasco 1	Frasco 2	Frasco 3	Soma (atual +anterior)
pressão (kpa)	9	3	21	-40,18
volume (ml)	13	12	18	43,30
AI				
	Frasco 1	Frasco 2	Frasco 3	Soma (atual +anterior)
pressão (kpa)	6	0	1	-53,43
volume (ml)	15	12	10	37,00
21/02		11:00		
ADI				
	Frasco 1	Frasco 2	Frasco 3	Soma (atual +anterior)
pressão (kpa)	13,5	24,3	18,7	117,91
volume (ml)	75	16	8	187,70
ACI				
	Frasco 1	Frasco 2	Frasco 3	Soma (atual +anterior)
pressao	16,4	15,2	14,4	323,67
volume (ml)	7	10	8	260,50
AD				
	Frasco 1	Frasco 2	Frasco 3	Soma (atual +anterior)
pressão (kpa)	30,2	39	26,8	181,39
volume (ml)	18	23	19	202,30
AI				
	Frasco 1	Frasco 2	Frasco 3	Soma (atual +anterior)
pressão (kpa)	3,3	5,4	5,22	-36,93
volume (ml)	1,5	3	3	51,75
23/02		11:00		

pressao	31,35	28,99	22,1	277,67
volume (ml)	22	21	17	235,50
AD				
	Frasco 1	Frasco 2	Frasco 3	Soma (atual +anterior)
pressão (kpa)	36,8	44,7	44,07	85,39
volume (ml)	24	38	37	142,30
AI				
	Frasco 1	Frasco 2	Frasco 3	Soma (atual +anterior)
pressão (kpa)	1,05	1,11	0,42	-50,85
volume (ml)	2,25	3	2	44,25
22/02		11:00		
ADI				
	Frasco 1	Frasco 2	Frasco 3	Soma (atual +anterior)
pressão (kpa)	48,36	6,38	47,6	220,25
volume (ml)	22,75	3,75	21,25	235,45
ACI				
	Frasco 1	Frasco 2	Frasco 3	Soma (atual +anterior)
pressao	10,54	10,25	11,56	356,02
volume (ml)	6,75	6,75	7,5	281,50
AD				
	Frasco 1	Frasco 2	Frasco 3	Soma (atual +anterior)
pressão (kpa)	28,14	44,83	10,55	264,91
volume (ml)	16	19,75	14,25	252,30
AI				
	Frasco 1	Frasco 2	Frasco 3	Soma (atual +anterior)
pressão (kpa)	7,18	6,58	8,68	-14,49
volume (ml)	3	2,5	3	60,25
24/02		11:00		

ADI				
	Frasco 1	Frasco 2	Frasco 3	Soma (atual +anterior)
pressão (kpa)	21,1	14,54	21,3	277,19
volume (ml)	14	13	17	279,45
ACI				
	Frasco 1	Frasco 2	Frasco 3	Soma (atual +anterior)
pressao	5,4	6,6	5,66	373,68
volume (ml)	3,5	3,75	2,25	291,00
AD				
	Frasco 1	Frasco 2	Frasco 3	Soma (atual +anterior)
pressão (kpa)	23,49	6,22	7,3	301,92
volume (ml)	16	5,25	3,75	277,30
AI				
	Frasco 1	Frasco 2	Frasco 3	Soma (atual +anterior)
pressão (kpa)	10,57	3,61	6,7	6,39
volume (ml)	12,3	8	11	91,55
25/02				
ADI				
	Frasco 1	Frasco 2	Frasco 3	Soma (atual +anterior)
pressão (kpa)	14,78	13,66	13,59	338,00
volume (ml)	14	13	14	359,45
ACI				
	Frasco 1	Frasco 2	Frasco 3	Soma (atual +anterior)
pressao	10,85	6,77	7,25	412,88
volume (ml)	13	15	12	336,75
AD				
	Frasco 1	Frasco 2	Frasco 3	Soma (atual +anterior)

ADI				
	Frasco 1	Frasco 2	Frasco 3	Soma (atual +anterior)
pressão (kpa)	1,88	3,2	13,7	295,97
volume (ml)	14	12	13	318,45
ACI				
	Frasco 1	Frasco 2	Frasco 3	Soma (atual +anterior)
pressao	5,2	4,8	4,33	388,01
volume (ml)	2,25	1,5	2	296,75
AD				
	Frasco 1	Frasco 2	Frasco 3	Soma (atual +anterior)
pressão (kpa)	9,96	4,03	9,6	325,51
volume (ml)	2,25	0,8	3,75	284,10
AI				
	Frasco 1	Frasco 2	Frasco 3	Soma (atual +anterior)
pressão (kpa)	30,8	3,75	30,5	71,44
volume (ml)	21	8	20	140,55
27/02				
ADI				
	Frasco 1	Frasco 2	Frasco 3	Soma (atual +anterior)
pressão (kpa)	11,2	11,62	10,45	371,27
volume (ml)	7,5	8	7,5	382,45
ACI				
	Frasco 1	Frasco 2	Frasco 3	Soma (atual +anterior)
pressao	82,2	18,9	76,8	590,78
volume (ml)	43	17	52	448,75
AD				
	Frasco 1	Frasco 2	Frasco 3	Soma (atual +anterior)

pressão (kpa)	14,99	3,93	15,31	359,74
volume (ml)	15	5	15	319,10
<b>AI</b>				
	Frasco 1	Frasco 2	Frasco 3	<b>Soma (atual +anterior)</b>
pressão (kpa)	23,9	1,47	7,15	103,96
volume (ml)	15	0,9	4,5	160,95
<b>01/03</b>				
<b>ADI</b>				
	Frasco 1	Frasco 2	Frasco 3	<b>Soma (atual +anterior)</b>
pressão (kpa)	11,82	12,85	11,1	407,04
volume (ml)	7,5	9	7,5	406,45
<b>ACI</b>				
	Frasco 1	Frasco 2	Frasco 3	<b>Soma (atual +anterior)</b>
pressao	71,7	96,2	85,3	843,98
volume (ml)	45	56	24	573,75
<b>AD</b>				
	Frasco 1	Frasco 2	Frasco 3	<b>Soma (atual +anterior)</b>
pressão (kpa)	29,5	10,25	30,11	493,91
volume (ml)	20,5	13	21	415,40
<b>AI</b>				
	Frasco 1	Frasco 2	Frasco 3	<b>Soma (atual +anterior)</b>
pressão (kpa)	0,7	-0,11	0,93	113,26
volume (ml)	0,2	0	0,3	166,45
<b>05/03</b>				
<b>ADI</b>				
	Frasco 1	Frasco 2	Frasco 3	<b>Soma (atual +anterior)</b>
pressão (kpa)	9,46	9,6	9,12	465,23
volume (ml)	6,5	7	6,5	446,25

pressão (kpa)	29,5	4,01	30,8	424,05
volume (ml)	20	0,8	21	360,90
<b>AI</b>				
	Frasco 1	Frasco 2	Frasco 3	<b>Soma (atual +anterior)</b>
pressão (kpa)	8,18	-0,1	-0,3	111,74
volume (ml)	5			165,95
<b>03/03</b>				
<b>ADI</b>				
	Frasco 1	Frasco 2	Frasco 3	<b>Soma (atual +anterior)</b>
pressão (kpa)	9,91	10,5	9,6	437,05
volume (ml)	6,3	7,5	6	426,25
<b>ACI</b>				
	Frasco 1	Frasco 2	Frasco 3	<b>Soma (atual +anterior)</b>
pressao	16,4	86,3	31,2	977,88
volume (ml)	15	55	20	663,75
<b>AD</b>				
	Frasco 1	Frasco 2	Frasco 3	<b>Soma (atual +anterior)</b>
pressão (kpa)	28,16	22,78	30,4	575,25
volume (ml)	21	16,2	25	477,60
<b>AI</b>				
	Frasco 1	Frasco 2	Frasco 3	<b>Soma (atual +anterior)</b>
pressão (kpa)	0,52	0,3	1,4	115,48
volume (ml)	0,3	0,2	0,7	167,65
<b>07/03</b>				
<b>ADI</b>				
	Frasco 1	Frasco 2	Frasco 3	<b>Soma (atual +anterior)</b>
pressão (kpa)	8	8,3	7,9	489,43
volume (ml)	5,5	6,5	5,5	463,75

ACI				
	Frasco 1	Frasco 2	Frasco 3	Soma (atual +anterior)
pressao	9,06	18,36	17,78	1023,08
volume (ml)	6	10,5	12,7	692,95
AD				
	Frasco 1	Frasco 2	Frasco 3	Soma (atual +anterior)
pressão (kpa)	26,16	37,2	28,85	667,46
volume (ml)	13	26	22,5	539,10
AI				
	Frasco 1	Frasco 2	Frasco 3	Soma (atual +anterior)
pressão (kpa)	4,29	0,11	0,1	119,98
volume (ml)	3	0	0	170,65
09/03				
ADI				
	Frasco 1	Frasco 2	Frasco 3	Soma (atual +anterior)
pressão (kpa)	7,2	7,5	6,4	510,53
volume (ml)	4,5	5	2	475,25
ACI				
	Frasco 1	Frasco 2	Frasco 3	Soma (atual +anterior)
pressao	4,08	4,89	4,58	1064,76
volume (ml)	2,5	2,5	2,6	720,05
AD				
	Frasco 1	Frasco 2	Frasco 3	Soma (atual +anterior)
pressão (kpa)	21,5	26,6	20,2	806,07
volume (ml)	15	15,6	15	637,20
AI				
	Frasco 1	Frasco 2	Frasco 3	Soma (atual +anterior)

ACI				
	Frasco 1	Frasco 2	Frasco 3	Soma (atual +anterior)
pressao	8,53	10,02	9,58	1051,21
volume (ml)	5,5	7,5	6,5	712,45
AD				
	Frasco 1	Frasco 2	Frasco 3	Soma (atual +anterior)
pressão (kpa)	19,35	27,46	23,5	737,77
volume (ml)	14,5	20	18	591,60
AI				
	Frasco 1	Frasco 2	Frasco 3	Soma (atual +anterior)
pressão (kpa)	5,5	4,3	4,01	133,79
volume (ml)	3,5	3	5,5	182,65
11/03				
ADI				
	Frasco 1	Frasco 2	Frasco 3	Soma (atual +anterior)
pressão (kpa)	5,43	5,96	5,72	527,64
volume (ml)	3,5	4	2	484,75
ACI				
	Frasco 1	Frasco 2	Frasco 3	Soma (atual +anterior)
pressao	11,8	8,5	5,14	1090,20
volume (ml)	7	5	3,5	735,55
AD				
	Frasco 1	Frasco 2	Frasco 3	Soma (atual +anterior)
pressão (kpa)	26,58	17,6	14,9	865,15
volume (ml)	15,7	10,65	10,45	674,00
AI				
	Frasco 1	Frasco 2	Frasco 3	Soma (atual +anterior)

pressão (kpa)	9,9	10,9	6,5	161,09
volume (ml)	5,5	5,5	3,5	197,15

13/03

**ADI**

	Frasco 1	Frasco 2	Frasco 3	Soma (atual +anterior)
pressão (kpa)	5,65	5,9	5,15	544,34
volume (ml)	4	4	3,5	496,25

**ACI**

	Frasco 1	Frasco 2	Frasco 3	Soma (atual +anterior)
pressao	22,7	8,8	8,6	1130,30
volume (ml)	15,05	6	4,5	761,10

**AD**

	Frasco 1	Frasco 2	Frasco 3	Soma (atual +anterior)
pressão (kpa)	31,8	19,5	20,08	936,53
volume (ml)	24,7	15,1	15	728,80

**AI**

	Frasco 1	Frasco 2	Frasco 3	Soma (atual +anterior)
pressão (kpa)	4,2	4,25	4,2	186,44
volume (ml)	3	3	2,5	214,15

18/03

**ADI**

	Frasco 1	Frasco 2	Frasco 3	Soma (atual +anterior)
pressão (kpa)	6,48	6,9	6,46	580,54
volume (ml)	4,5	4,5	4,5	520,25

**ACI**

	Frasco 1	Frasco 2	Frasco 3	Soma (atual +anterior)
pressao	13,6	10,85	90,3	1314,25
volume (ml)	9,5	8	28,2	842,96

pressão (kpa)	4,4	4,2	4,1	173,79
volume (ml)	3	3	2,5	205,65

15/03

**ADI**

	Frasco 1	Frasco 2	Frasco 3	Soma (atual +anterior)
pressão (kpa)	5,36	5,7	5,3	560,70
volume (ml)	3,5	3,5	3,5	506,75

**ACI**

	Frasco 1	Frasco 2	Frasco 3	Soma (atual +anterior)
pressao	51,6	8,6	9	1199,50
volume (ml)	25,46	5,5	5,2	797,26

**AD**

	Frasco 1	Frasco 2	Frasco 3	Soma (atual +anterior)
pressão (kpa)	24,5	23,6	31,3	1015,93
volume (ml)	15,6	15,6	22,5	782,50

**AI**

	Frasco 1	Frasco 2	Frasco 3	Soma (atual +anterior)
pressão (kpa)	4,3	4,16	4,6	199,50
volume (ml)	2,5	2,5	3	222,15

20/03

**ADI**

	Frasco 1	Frasco 2	Frasco 3	Soma (atual +anterior)
pressão (kpa)	4,44	4	4,15	593,13
volume (ml)	2,5	2,5	2,5	527,75

**ACI**

	Frasco 1	Frasco 2	Frasco 3	Soma (atual +anterior)
pressao	42,7	7,4	8,3	1372,65
volume (ml)	27	5	8	882,96

AD				
	Frasco 1	Frasco 2	Frasco 3	Soma (atual +anterior)
pressão (kpa)	17,69	38,21	40,7	1112,53
volume (ml)	13	25	26,5	847,00
AI				
	Frasco 1	Frasco 2	Frasco 3	Soma (atual +anterior)
pressão (kpa)	4,81	4,8	0,45	209,56
volume (ml)	3,5	3,5	0,28	229,43

22/03

ADI				
	Frasco 1	Frasco 2	Frasco 3	Soma (atual +anterior)
pressão (kpa)	4	3,94	3,9	604,97
volume (ml)	2,5	3	2,5	535,75

ACI				
	Frasco 1	Frasco 2	Frasco 3	Soma (atual +anterior)
pressao	14	9,5	9,6	1405,75
volume (ml)	9	6,5	10	908,46

AD				
	Frasco 1	Frasco 2	Frasco 3	Soma (atual +anterior)
pressão (kpa)	10,11	16	14,8	1199,44
volume (ml)	7,5	13	10	911,15

AI				
	Frasco 1	Frasco 2	Frasco 3	Soma (atual +anterior)
pressão (kpa)	0	0	0	252,26
volume (ml)	0	0	0	256,43

AD				
	Frasco 1	Frasco 2	Frasco 3	Soma (atual +anterior)
pressão (kpa)	8,2	17,5	20,3	1158,53
volume (ml)	5,05	13,5	15,1	880,65
AI				
	Frasco 1	Frasco 2	Frasco 3	Soma (atual +anterior)
pressão (kpa)	42,7	0	0	252,26
volume (ml)	27	0	0	256,43

24/03

ADI				
	Frasco 1	Frasco 2	Frasco 3	Soma (atual +anterior)
pressão (kpa)	0	0	0	604,97
volume (ml)	0	0	0	535,75

ACI				
	Frasco 1	Frasco 2	Frasco 3	Soma (atual +anterior)
pressao	24	4	4,7	1438,45
volume (ml)	15	3	2,5	928,96

AD				
	Frasco 1	Frasco 2	Frasco 3	Soma (atual +anterior)
pressão (kpa)	0	0	0	1199,44
volume (ml)	0	0	0	911,15

AI				
	Frasco 1	Frasco 2	Frasco 3	Soma (atual +anterior)
pressão (kpa)	0	0	0	252,26
volume (ml)	0	0	0	256,43