

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**JOÃO VITOR MORESCHI**

**DIAGNÓSTICO DE BIODIGESTOR EM ESCALA REAL DE UM ABATEDOURO DE  
BOVINOS EM FRANCISCO BELTRÃO**

**FRANCISCO BELTRÃO**

**2023**

**JOÃO VITOR MORESCHI**

**DIAGNÓSTICO DE BIODIGESTOR EM ESCALA REAL DE UM ABATEDOURO DE BOVINOS EM FRANCISCO BELTRÃO**

**Diagnosis of full-scale biodigester of a bovine slaughterhouse in Francisco Beltrão**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentada como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).  
Orientador: Prof. Dr. Marcelo Bortoli

**FRANCISCO BELTRÃO**

**2023**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**JOÃO VITOR MORESCHI**

**DIAGNÓSTICO DE BIODIGESTOR EM ESCALA REAL DE UM ABATEDOURO DE BOVINOS EM FRANCISCO BELTRÃO**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentada como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).  
Orientador: Prof. Dr. Marcelo Bortoli.

Data de aprovação 26 de junho de 2023

---

Marcelo Bortoli  
Doutorado  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Irede Angela Lucini Dalmolin  
Doutorado  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Camila Ester Hollas  
Doutorado  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

“A folha de aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso. “

**FRANCISCO BELTRÃO**

**2023**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Marcelo Bortoli pela orientação e por me guiar na escrita e na coleta de dados para a construção desse trabalho.

Agradeço a banca por se disponibilizarem a corrigir e estarem presentes no dia da defesa do trabalho.

Agradeço a empresa Frigorífico Santa Bárbara LTDA, que disponibilizou o biodigestor e permitiu que eu fizesse as coletas de amostras para a realização do trabalho.

Deixo registrado os meus agradecimentos aos meus tios que me apoiaram e me acolheram como um filho quando cheguei na cidade de Francisco Beltrão no início da faculdade, sem esse apoio não poderia estar finalizando esse documento.

Gostaria de deixar os meus agradecimentos aos meus pais e meus irmãos, que lutaram e me apoiaram durante todos esses anos de graduação, sem eles creio que seria muito difícil esta jornada acadêmica. Passamos por muitas batalhas juntos, mas vencemos todas elas, só tenho que agradecer por tudo.

Agradeço aos meus amigos e colegas de faculdade que durante os anos de graduação me apoiaram com suas histórias de vida, culturas e jeitos diferentes de pensar, que de forma direta ou indireta me ajudaram na construção desse documento. Sem vocês não conseguiria chegar até o final da graduação.

Deixar um agradecimento para a instituição UTFPR (Universidade Tecnológica Federal do Paraná) do campus de Francisco Beltrão, onde me ofertou um ensino de qualidade durante toda a graduação.

Por fim agradecer a mim, que deu o seu melhor e fez o possível para poder estar aqui defendendo o seu trabalho de conclusão de curso.

## RESUMO

O Brasil tem se destacado no uso de fontes renováveis de energia. Uma dessas fontes é o biogás, que pode ser gerado de várias maneiras incluindo a digestão anaeróbia de resíduos. Pensando em melhorar a performance do processo de digestão anaeróbia, o objetivo deste trabalho foi monitorar um biodigestor modelo CSTR (Continuous Stirred Tank Reactor) instalado em um frigorífico de abate de bovinos. O biogás gerado é utilizado para a geração de energia elétrica, que é vendida para a companhia de energia elétrica, sendo assim uma fonte financeira extra para a empresa. O monitoramento teve como foco analisar os parâmetros de entrada e saída do biodigestor, analisando variáveis físico-químicas do efluente, como: sólidos totais, fixos e voláteis, os óleos e graxas, a carga orgânica volumétrica removida no biodigestor, os nitrogênios totais Kjeldahl e amoniacal, a relação da alcalinidade intermediária com a alcalinidade parcial e a qualidade do biogás gerado. Com os resultados obtidos nas análises, foi possível identificar que o biogás gerado pelo biodigestor tem uma qualidade boa para queima e geração de energia elétrica limpa. Também pode-se observar que não está ocorrendo acúmulo significativo de sólidos fixos e nem de óleos e graxas dentro do biodigestor, indicando que o biodigestor está com funcionamento esperado. Com isso, foi possível identificar e repassar para a empresa possíveis melhorias no processo do biodigestor, para que a produção do biogás seja aperfeiçoada, e com isso, o possível crescimento na produção de biogás para geração de energia elétrica, trazendo com isso um retorno financeiro na venda da energia elétrica.

Palavras-Chaves: Digestão anaeróbia; CSTR; biogás.

## **ABSTRACT**

Brazil has stood out in the use of renewable energy sources. One such source is biogas, which can be generated in a number of ways including anaerobic digestion of waste. Thinking about improving the performance of the anaerobic digestion process, the objective of this work was to monitor a CSTR model biodigester (Continuous Stirred Tank Reactor) installed in a bovine slaughterhouse. The biogas generated is used to generate electricity, which is sold to the electricity company, thus providing an extra financial source for the company. The monitoring focused on analyzing the input and output parameters of the biodigester, analyzing the physical and chemical measurements of the effluent, such as: total solids, fixed and volatile, oils and greases, the removable volumetric organic load in the biodigester, the total Kjeldahl carriers and ammoniacal, a relationship between protected alkalinity and partial alkalinity and the quality of the generated biogas. With the results obtained in the analyses, it was possible to identify that the biogas generated by the biodigester has a good quality for burning and generating clean electricity. It can also be observed that there is no significant number of fixed solids or oils and greases inside the biodigester, indicating that the biodigester is functioning as expected. With this, it was possible to identify and pass on to the company possible improvements in the process of the biodigester, so that the production of biogas is perfected, and with that, the possible growth in the production of biogas for the generation of electric energy, bringing with it a financial return in the sale of electricity.

Keywords: Anaerobic digestion; CSTR; biogas.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Visão geral do biodigestor estudado.....	15
Figura 2 – Motor que rotaciona a hélice dentro do biodigestor .....	16
Figura 3 – Esboço das dimensões do biodigestor .....	17
Figura 4 – Reservatório antes da entrada do biodigestor .....	17
Figura 5 – Entrada do biodigestor .....	18
Figura 6 – Saída do biodigestor e as lagoas de biofertilizantes .....	19
Figura 7 – Diagrama do processo de digestão anaeróbia .....	23
Figura 8 – Ilustração de um BLC.....	25
Figura 9 – Ilustração de um reator CSTR .....	26
Figura 10 – Fontes de geração de energia no Brasil.....	28
Figura 11 – registro de vazão de água do poço.....	34
Figura 12 - Diagrama concentração <i>versus</i> período para COV de entrada e da saída .....	36
Figura 13 - Diagrama concentração <i>versus</i> período para sólidos totais das amostras (ST) .....	38
Figura 14 - Diagrama concentração <i>versus</i> período para sólidos Voláteis das amostras (SV) .....	40
Figura 15 - Diagrama concentração <i>versus</i> período para Sólidos Fixos das amostras (SF) .....	41
Figura 16 – Diagrama concentração <i>versus</i> período para óleos e graxas ao longo do tempo .....	43
Figura 17 – Amostragem do NTK em porcentagem ao longo do tempo .....	45
Figura 18 – Amostragem da porcentagem de NH <sub>3</sub> ao longo do tempo .....	46
Figura 19 – pH do efluente de entrada do biodigestor por tempo .....	48
Figura 20 – Parâmetro de AI/AP .....	51
Figura 21 – Evolução da composição do biogás ao longo do tempo.....	52
Quadro 1 – Análises há serem feitas mensais .....	16

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores de carne bovina produzida por mil toneladas .....	21
Tabela 3 – Dados de entrada do Biodigestor ao longo do tempo.....	35
Tabela 4 –COV de entrada e saída .....	35
Tabela 5 – Resultados dos ST, SF e SV .....	37
Tabela 6 – Porcentagem de ST que foi consumido no Biodigestor.....	39
Tabela 7 – Porcentagem de SV que foi consumido e que sai do Biodigestor ...	40
Tabela 8 – Resultados das análises dos óleos e graxas .....	42
Tabela 9 – Porcentagem de entrada e saída do NTK e NH <sub>3</sub> .....	44
Tabela 10 – Porcentagem de remoção de NTK.....	45
Tabela 11 – Valores de Amônia livre no biodigestor.....	47
Tabela 12 – Valores calculados de AI, AP e AI/AP .....	50
Tabela 13 – Caracterização do biogás.....	51
Tabela 14 – pH de entrada e saída do biodigestor no mês de julho. ....	60
Tabela 15 - pH de entrada e saída do biodigestor no mês de agosto.....	60
Tabela 16 – pH de entrada e saída do biodigestor no mês de setembro .....	61
Tabela 17 – pH de entrada e saída do biodigestor no mês de outubro .....	61
Tabela 18 – pH de entrada e saída do biodigestor no mês de novembro .....	62

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CSTR	Continuous Stirred Tank Reactor
ST	Sólidos Totais
SF	Sólidos Fixos
SV	Sólidos Voláteis
NTK	Nitrogênio Totais Kjeldahl
NH <sub>3</sub>	Nitrogênio amoniacal
EUA	Estados Unidos da América
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
CH <sub>4</sub>	Metano
BLC	Biorreator de Lagoa Coberta
N	Nitrogênio
P	Fósforo
K	Potássio
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
COV	Carga Orgânica Volumétrica
kg <sub>sv</sub>	Quilo gramas de Sólidos Voláteis
kg	Quilo gramas
m <sup>3</sup>	Metros cúbicos
d	Dias
Q	Vazão
S <sub>v</sub>	Sólidos Voláteis
V	Volume
TRH	Tempo de Retenção Hídrica
HCl	Ácido Clorídrico
Al	Alcalinidade Intermediária
AP	Alcalinidade Parcial
AL	Amônia Livre
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Ácido sulfúrico
mg	Miligramas
CaCO <sub>3</sub>	Carbonato de cálcio

L	Litros
mL	Mililitros
V <sub>ácido</sub>	Volume de ácido
O <sub>2</sub>	Oxigênio
H <sub>2</sub> S	Sulfeto de Hidrogênio

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>12</b>
1.1 Problema	13
1.2 Justificativa	13
<b>2 O BIODIGESTOR</b>	<b>15</b>
<b>3 OBJETIVOS</b>	<b>20</b>
3.1 Objetivo Geral	20
3.2 Objetivo Específico	20
<b>4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>21</b>
<b>4.1 Bovinocultura no mundo</b>	<b>21</b>
4.1.1 Consumo de carne bovina no mundo	21
4.1.2 Bovinocultura no Brasil	22
4.1.2 Abates bovinos	22
<b>4.2 Digestão anaeróbia</b>	<b>22</b>
4.2.1. Hidrólise	23
4.2.2 Acidogênese	23
4.2.3 Acetogênese	24
4.2.4 Metanogênese	24
<b>4.3 Biorreator</b>	<b>24</b>
4.3.1 Biorreator de lagoa coberta (BLC)	24
4.3.2 Reatores CSTR	25
<b>4.4 Biofertilizante</b>	<b>26</b>
<b>4.5 Geração de energia</b>	<b>27</b>
<b>4.5.1 Geração de energia no mundo</b>	<b>27</b>
4.5.2 Geração de energias renováveis no Brasil	27
<b>5 METODOLOGIA</b>	<b>29</b>
<b>5.1 Técnicas analíticas</b>	<b>30</b>
5.1.1 Carga Orgânica Volumétrica (COV)	30
5.1.2 Sólidos Totais, Sólidos fixos e Sólidos voláteis (ST, SF, SV)	30
5.1.3 Óleos e graxos (gorduras totais)	30
5.1.4 Teores NTK (nitrogênio totais Kjeldahl) e teor de NH <sub>3</sub>	32
5.1.5 pH e Temperatura	32
4.1.6 Alcalinidade Intermediária / Alcalinidade Parcial (AI/AP)	32
5.1.7 Vazão de efluente	33
5.1.8 Análise da qualidade do biogás	33
<b>6 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>34</b>

<b>6.1</b>	<b>Medições da vazão de efluente de entrada do biodigestor</b>	<b>34</b>
<b>6.2</b>	<b>Descrição dos resultados da Carga Orgânica Volumétrica (COV)</b>	<b>35</b>
<b>6.3</b>	<b>Análises dos Sólidos totais, Sólidos Fixos e Sólidos Voláteis</b>	<b>37</b>
6.3.1	Sólidos Totais (ST)	37
6.3.2	Sólidos Voláteis (SV)	39
6.3.3	Sólidos Fixos (SF)	41
6.3.4	Relação SV/ST.	41
<b>6.4</b>	<b>Determinação de óleos e graxas</b>	<b>42</b>
<b>6.5</b>	<b>Quantificação de Nitrogênio Totais Kjeldahl e o Nitrogênio Amoniacal Total</b>	<b>44</b>
6.5.1	Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK)	44
6.5.2	Nitrogênio Amoniacal (NH <sub>3</sub> )	46
<b>6.6</b>	<b>Medidas do pH</b>	<b>47</b>
<b>6.7</b>	<b>Avaliação da Alcalinidade intermediaria / Alcalinidade parcial</b>	<b>50</b>
<b>6.8</b>	<b>Caracterização do biogás</b>	<b>51</b>
<b>7</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>54</b>
7.1	Sugestões de melhoria para o processo.	54
7.2	Diagnóstico	54
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>56</b>
	<b>APÊNDICE A – Tabelas do pH obtidos durante o período de estudo</b>	<b>60</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Na última década o consumo de proteína animal no mundo teve um crescimento de 2% ao ano, devido a alguns fatores, sendo o principal deles, o aumento do poder aquisitivo dos países como o Brasil e a China, grandes produtores mundiais de carne (VIEIRA *et al.*, 2021).

O Brasil apresenta uma ampla produção de carne, com uma grande variedade, principalmente, em função de que o país possui uma vasta área para o manejo e produção animal, além de ser uma potência na produção de grãos (CUCCO *et al.*, 2021).

Nessa ampla produção de carne, pesquisas mostraram que em 2020 o Brasil possuía o maior rebanho de bovinos no mundo, com cerca de 217 milhões de cabeças, o que é equivalente a 14,3% do plantel mundial. No mesmo ano o Brasil chegou a estar em segundo lugar nas exportações de carnes (bovinas, suínas e aves), com a venda de aproximadamente 7,4 milhões de toneladas, para diferentes países, ficando atrás apenas dos EUA (DIAS *et al.*, 2021).

Devido a esse grande volume exportado, aliado ao alto consumo de proteínas do país, a demanda é alta. Com isso, existe uma preocupação ambiental com o descarte incorreto dos resíduos, sólidos e líquidos, gerados nos abatedouros (sangue, gordura, sólidos do conteúdo gastrointestinal, pedaços de tecidos, entre outros materiais que não são aproveitados).

O descarte incorreto no meio ambiente, sem o devido tratamento, pode causar impactos importantes nos ecossistemas, como contaminação de rios e solos. Para isso uma das alternativas para minimizar o problema ambiental associado com esses resíduos é a utilização da digestão anaeróbia.

Uma das ferramentas mais utilizadas na digestão anaeróbia desse tipo de resíduo é o biodigestor. Biodigestor é um sistema de tratamento anaeróbio, utilizado para a decomposição dos materiais orgânicos que contêm em um efluente, o que, como subproduto, ocorre a produção de biogás e biofertilizante (AMARAL; STEINMETZ; KUNZ, 2019b).

O biodigestor utilizado foi o modelo CSTR (Continuous Stirred Tank Reactor) ou seja, reator com tanque agitado continuamente. Esse modelo pode atuar com grandes cargas orgânicas volumétricas 1 a 4 Kg<sub>sv</sub> /m<sup>3</sup>d e sua principal característica é a presença de um sistema de agitação (AMARAL; STEINMETZ; KUNZ, 2019b).

A implantação de biodigestores é vista como benéfica para as empresas, devido a mitigação da emissão de gases como o metano na atmosfera, os resíduos que iriam agredir o meio ambiente são contidos também pelo biodigestor tendo seu potencial poluidor diminuído, além de ser uma fonte de energia renovável, limpa e de baixo custo, ajudando assim a custear o consumo de energia elétrica dos diferentes processos da empresa (PECCI, 2021).

Muitos desses reatores de digestão biológica são dimensionados e operados de forma inadequada, o que a curto prazo geram problemas de eficiência na geração de biogás e a longo prazo problemas com o assoreamento dos reatores. Nesse sentido, é imprescindível o monitoramento do biodigestor, com o intuito de verificar o funcionamento do mesmo e identificar melhorias que possam ser feitas para que a produção de biogás seja maximizada.

### **1.1 Problema**

É possível destinar os resíduos de abatedouro de bovinos de forma ambientalmente correta e ainda gerar energia renovável?

### **1.2 Justificativa**

Nos últimos anos as organizações mundiais vêm tomando medidas para minimizar o impacto ambiental do descarte inadequado dos resíduos industriais no meio ambiente. Devido a este problema as empresas estão estudando formas de destinar os resíduos produzidos de forma ambientalmente correta.

Os resíduos produzidos em abatedouros são compostos por sangue, pedaços de carne, frações de ossos, conteúdo ruminal, vísceras e água de lavagem. Esses compostos têm contaminantes que podem prejudicar o solo e águas superficiais das proximidades da empresa, caso descartados de forma incorreta, esses resíduos geram fragilidades perante órgãos ambientais, que podem até impedir o funcionamento da empresa.

Nesse sentido, objetivando minimizar o impacto ambiental, a utilização de biodigestores é uma alternativa viável e eficiente, pois ocorre a produção de biofertilizante para as plantações e do biogás para ser podendo ser usado na geração de energia elétrica limpa, assim não prejudicando o meio ambiente com o descarte

dos resíduos de forma incorreta e gerando fonte financeira extra para as empresas.

O biogás é uma mistura de gases rica em metano e dióxido de carbono, se liberados para atmosfera de forma inadequada, podem ser prejudiciais, pois, estes gases podem ser considerados causadores do efeito estufa, sendo o metano mais prejudicial do que o dióxido de carbono, é imprescindível que o biogás seja direcionado para queima. O biogás ao ser queimado tem potencial de geração de energia tanto elétrica, térmica ou mesmo a ser utilizado como biocombustível.

## 2 O BIODIGESTOR

Neste tópico será mostrado o biodigestor utilizado neste estudo, as dimensões e parâmetros de funcionamento.

O biodigestor estudado foi instalado na sede da empresa Frigorífico Santa Barbara Ltda, com o objetivo de tratar biologicamente o efluente gerado pelos abates diários de bovinos e com o biogás gerado dentro biodigestor gerar energia elétrica limpa para ser comercializada para a companhia de energia, visto que o biodigestor é o modelo CSTR (*Continuous Stirred Tank Reactor*) como mostra a Figura 1.

**Figura 1 – Visão geral do biodigestor estudado**



**Fonte: Autoria própria (2023)**

Para se obter a agitação interna no biodigestor foi instalado um agitador da marca SUMA, fixo a sua lateral. O agitador é programado para ligar a cada três horas por trinta minutos, essa agitação consegue movimentar por completo o meio reacional do biodigestor, tendo uma homogeneização do meio. A Figura 2 mostra a parte externa do motor acoplado ao biodigestor.

**Figura 2 – Motor que rotaciona a hélice dentro do biodigestor**

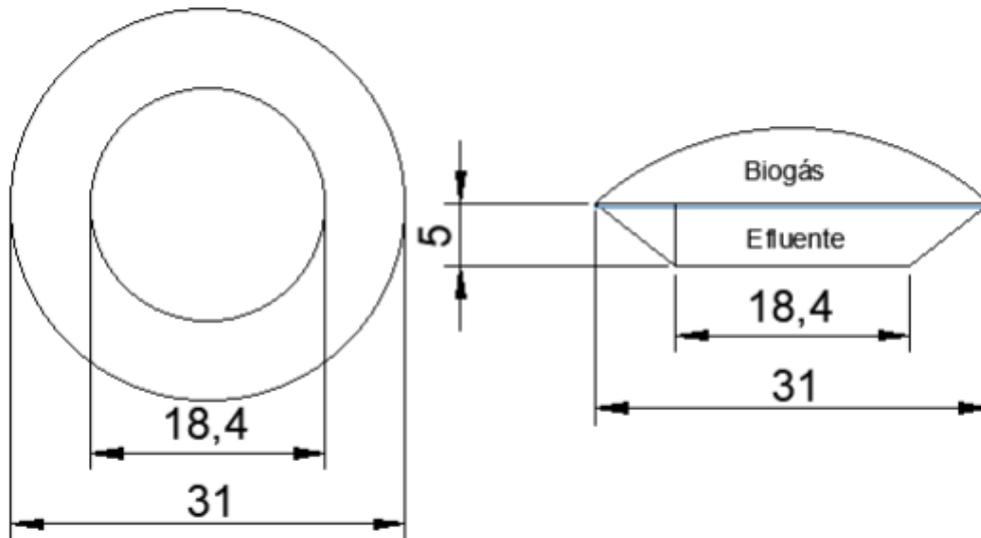


**Fonte: A autoria própria (2023)**

O biodigestor foi instalado e projetado pela empresa BIODIGESTORES LTDA-ME. A empresa foi responsável pelo dimensionamento do biodigestor, cálculo do tempo de retenção hidráulica (TRH) e a estimativa de produção do biogás gerado. Foi observado no memorando descritivo que a empresa BIODIGESTORES enviou para o frigorífico que o tempo de retenção hidráulica é de 30 dias e que a produção de biogás seria de 1000 m<sup>3</sup> por dia, se todos os parâmetros de efluentes e manuseio do gerador fossem atingidos.

O dimensionamento do biodigestor levou em consideração a quantidade de bovinos abatidos por dia, volume de água utilizada por cabeça abatida e o tempo de retenção hidráulica, onde a BIODIGESTORES estimou o volume do biodigestor em 2.200 m<sup>3</sup>. Esse volume conseguiria suprir as necessidades de vazão de efluente gerado pelo frigorífico. A Figura 3 mostra as dimensões do biodigestor que a BIODIGESTORES fez em seu memorando descritivo.

**Figura 3 – Esboço das dimensões do biodigestor**



Fonte: BIODIGESTOR (2020)

O efluente antes de adentrar no biodigestor passa por tubulações até chegar em um reservatório com grades. Essas grades são utilizadas para reter os sólidos mais grosseiros como pedaços de carne, ossos, pele ou gorduras, como é mostrado na Figura 4.

Após passar pelas grades o efluente é conduzido por tubulações até a entrada do biodigestor onde a entrada é uma tubulação aberta com um pequeno reservatório como é visto na Figura 5.

**Figura 4 – Reservatório antes da entrada do biodigestor**



Fonte: Autoria Própria (2023)

**Figura 5 – Entrada do biodigestor**



**Fonte: Aatoria Própria (2023)**

O frigorífico fica em uma parte mais elevada, assim é possível utilizar a gravidade para movimentar o efluente do frigorífico até o biodigestor sem a utilização de bombas.

Após o efluente passar pelo biodigestor é conduzido por uma tubulação para o tratamento por uma série de três lagoas de biofertilizante, como pode ser observado na Figura 6. Após as lagoas é conduzido para lançamento em corpo hídrico.

**Figura 6 – Saída do biodigestor e as lagoas de biofertilizantes**



**Fonte: Autoria Própria (2023)**

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo Geral**

Avaliar a eficiência de produção de biogás de efluente de frigorífico em um reator tipo CSTR em escala real.

#### **3.2 Objetivo Específico**

- Realizar um diagnóstico da operação e controle do biodigestor CSTR;
- Determinar carga orgânica volumétrica, tanto na entrada como na saída do biorreator;
- Acompanhar parâmetros físico-químicos como pH, Sólidos Totais, Sólidos Fixos, Sólidos Voláteis, Gorduras totais, Nitrogênio Total Kjeldah e  $\text{NH}_3$ ;
- Estimar a relação Alcalinidade Intermediária/Alcalinidade Parcial, na saída do biorreator;
- Identificar e propor melhorias para potencializar gerador de energia elétrica acoplado no biodigestor.

## 4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 4.1 Bovinocultura no mundo

Segundo dados MALAFAIA *et al.* (2021), o mundo tem um rebanho de aproximadamente 1 bilhão de cabeça de bovinos de corte, sendo o Brasil o segundo país com o maior rebanho do mundo; aproximadamente 24,7% do rebanho mundial. O Brasil só fica a traz da Índia que representa 30,6% do rebanho mundial.

O mundo produziu cerca de 58 milhões de toneladas de carne bovina em 2021, com o EUA produzindo 20% do valor total, sendo o maior produto de carnes bovinas do mundo, seguido do Brasil com 12,5% (MALAFAIA *et al.*, 2021).

A Tabela 1 a seguir mostra os valores de produção mundial, dos principais países como China, União Europeia, Brasil e entre outros, nos últimos 5 anos segundo o departamento de agricultura dos Estados Unidos (USDA, 2022).

Onde é possível ver que o Brasil está mantendo a sua produção acima de nove mil toneladas, onde que em 2019 chegou a representar cerca de 17,39% da produção de carnes do mundial e abril de 2023 chegou em 17,87%, podendo chegar à porcentagem maiores até o final do ano.

**Tabela 1 - Valores de carne bovina produzida por mil toneladas**

	2019	2020	2021	2022	2023 Jan	2023 Apr
<b>Production</b>						
Brazil	10,050	9,975	9,750	10,350	10,560	10,570
China	6,670	6,720	6,980	7,180	7,350	7,400
European Union	6,964	6,882	6,865	6,730	6,700	6,700
India	4,270	3,760	4,195	4,350	4,425	4,440
Argentina	3,125	3,170	3,000	3,140	3,000	3,000
Mexico	2,027	2,079	2,129	2,180	2,225	2,220
Australia	2,432	2,123	1,895	1,878	2,210	2,060
Canada	1,342	1,314	1,385	1,395	1,375	1,375
Russia	1,374	1,378	1,380	1,320	1,370	1,300
South Africa	1,019	1,008	996	995	1,001	1,000
Others	6,884	6,880	7,075	6,940	6,937	6,879
Total Foreign	46,157	45,289	45,650	46,458	47,153	46,944
United States	12,385	12,389	12,734	12,890	12,053	12,201
Total	58,542	57,678	58,384	59,348	59,206	59,145

Fonte: Adaptado do site USDA (2022)

#### 4.1.1 Consumo de carne bovina no mundo

Segundo Dias *et al.* (2021) O consumo de carne crescerá mais em 2021 até 2025 do que nos anos de 2011 até 2020, e um dos motivos deste crescimento é devido

a recuperação do mundo pós COVID-19.

#### 4.1.2 Bovinocultura no Brasil

O Brasil conseguiu nos últimos anos ser o segundo maior produtor de carne bovina do mundo com aproximadamente 16,8%, atrás somente dos EUA com 20% da produção mundial. Na Tabela 1 observa-se que o Brasil e os EUA são os únicos que conseguem produzir 10 mil toneladas ao ano (MALAFAIA *et al.*, 2021).

O território brasileiro é muito favorável às raças bovinas do tipo zebuínas. No Brasil a mais comum é a nelore que faz parte dessa raça, devido ela ser mais resistente a ectoparasitas e endoparasitas, que podem ser encontrados no Brasil. Mas em algumas regiões do Brasil é possível encontrar raças europeias que consistem em uma carne mais macia, se for compraram com as zebuínas. Em certas partes do território nacional ocorre o cruzamento das duas raças para que elas consigam ter uma carne mais macia (que é uma etapa crucial para a venda da carne) e consigam ser resistentes aos parasitas (MALAFAIA *et al.*, 2021).

Segundo o PPM (2020) os estados que mais tiveram concentrações de cabeças de gado no Brasil foram o Mato Grosso e Goiás, onde que os dois somados tinham cerca de 25,8% do rebanho do país.

#### 4.1.2 Abates bovinos

Os abates bovinos seguem procedimentos que preservam o bem estar no animal, padronizando as técnicas e estruturas dos abates para que o animal não sinta dor ao morrer.

Os Abates seguem 11 etapas sendo elas: Recepção dos bovinos, Inspeção ante mortem, Banheiro de aspersão e rampa de acesso à sala de matança, Insensibilização dos bovinos, Sangria dos animais, Esfolia, Desarticulação da cabeça, Evisceração, Inspeção *post-mortem*, Serragem das meias carcaças e a Refrigeração (IFOPE, 2021).

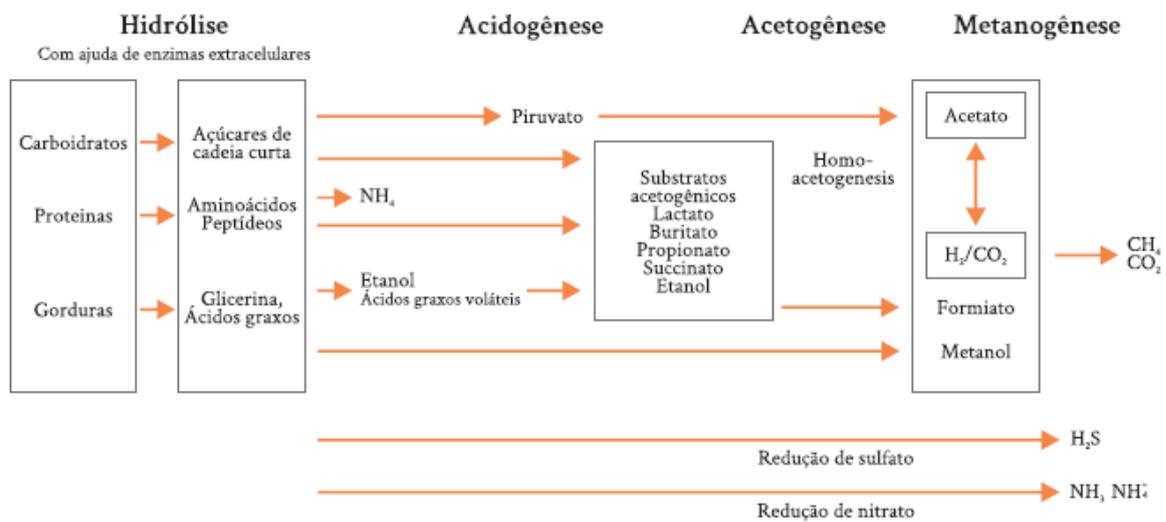
## 4.2 Digestão anaeróbia

O processo de digestão anaeróbia ou biodigestão nada mais é do que um

aglomerado de microrganismos que conseguem consumir materiais orgânicos e converte-las em biogás onde, esse biogás tem concentrações elevadas de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e metano ( $\text{CH}_4$ ). Esses processo ocorre em distintas fases que são a hidrólise, acidogênese, acetogênese e por último a metanogênese com a matéria-prima utilizada (KUNZ; AMARAL; STEINMETZ, 2019).

Na Figura 7 mostra um diagrama de como é o processo de digestão anaeróbia com as 4 etapas juntas.

**Figura 7 – Diagrama do processo de digestão anaeróbia**



**Fonte: Kunz, Amaral e Steinmetz (2019)**

#### 4.2.1. Hidrólise

Na hidrólise, as bactérias hidrolíticas excretam enzimas que degradam os compostos de alta massa molecular (lipídios, polissacarídeos e proteínas) e transformam em compostos mais leves que seriam os monômeros.

A hidrólise pode ser considerada a etapa limitante do processo de digestão anaeróbia, devido a sua importância na quebra dos compostos. Para cada composto o seu tempo de hidrólise pode variar, podendo ser de horas (carboidratos) ou até dias (proteínas e lipídios) (KUNZ; AMARAL; STEINMETZ, 2019).

#### 4.2.2 Acidogênese

Nesta etapa todos os monômeros produzidos pela hidrólise são consumidos

e degradados por outro grupo de bactérias (bactérias acidogênicas), que transformam em ácidos orgânicos de cadeia curta e em moléculas que contém de 1 a 5 carbonos, como: álcoois, óxidos de nitrogênios, sulfeto de hidrogênio, hidrogênio livre e dióxido de carbono (KUNZ; AMARAL; STEINMETZ, 2019).

#### 4.2.3 Acetogênese

A acetogênese é um processo que consiste em transformar os ácidos orgânicos de cadeia longa em ácidos de 1 a 2 carbonos, e simultaneamente produzindo hidrogênio e dióxido de carbono.

Esta etapa do processo é exotérmica (liberação de energia em forma de calor), devido as bactérias acetogênicas que fazem sintrofia com as bactérias homoacetogênicas e com as arqueas metanogênicas. Nesta etapa a geração de acetado é conduzida pelas bactérias homoacetogênicas que faz as arqueas metanogênicas consumam o gás carbono e o hidrogênio (KUNZ; AMARAL; STEINMETZ, 2019).

#### 4.2.4 Metanogênese

É considerada a última etapa da digestão anaeróbia, e só ocorre estritamente em condições anaeróbias. A metanogênese transforma o carbono em dióxido de carbono e metano, com o auxílio das arqueas metanogênicas.

Esse processo tem dois caminhos distintos, que são conduzidos por arqueas acetoclásticas ou hidrogênotróficas, que liberam energia em forma de calor, sendo que a acetoclásticas transformam acetato em metano e a hidrogenotróficas transformam hidrogênio e dióxido de carbono em metano (KUNZ; AMARAL; STEINMETZ, 2019).

### 4.3 Biorreator

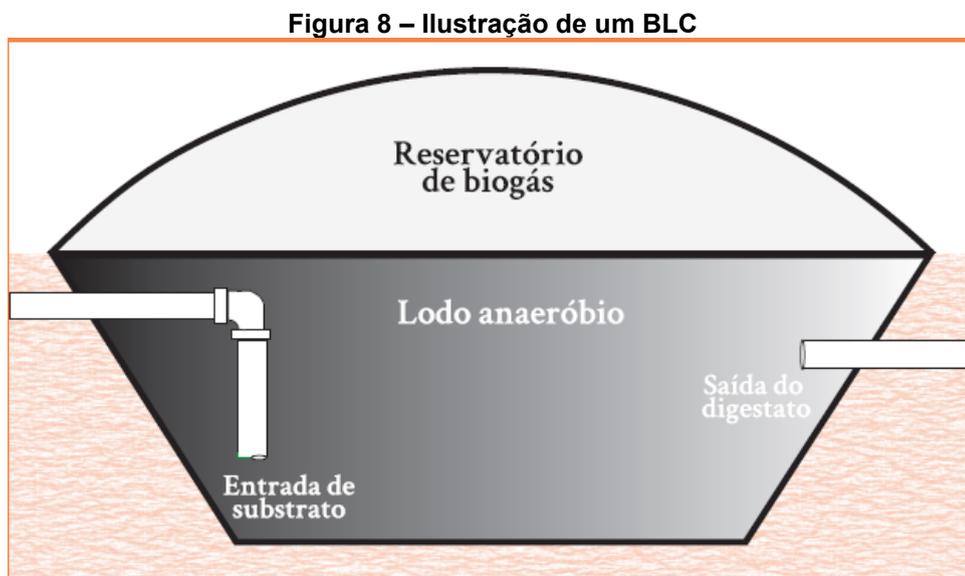
#### 4.3.1 Biorreator de lagoa coberta (BLC)

O Biorreator de lagoa coberta ou conhecida pela sigla BLC, é muito usado nas indústrias para o tratamento dos seus efluentes, além de ter uma facilidade de manejo.

Considerado de baixa tecnologia, o BLC é de simples construção, por ser escavado no solo e impermeabilizado com geomembranas, para evitar a contaminação direta com o solo escavado.

Segundo Cantrel; Ducey; Hunt (2008) o BLC consegue suportar cargas de alimentação próximas a  $0,5 \text{ Kg}_{\text{sv}} / \text{m}^3\text{d}$  e concentrações de sólidos totais abaixo de 3%, visto que valores maiores que esse pode ocorrer o assoreamento do biodigestor.

O seu formato de escavação é em forma trapezoidal, que pode ter uma variação na inclinação das paredes, devido ao solo. Esta escavação é coberta com uma manta que tenha baixa permeabilidade com gases, podendo assim armazenar o biogás gerado, como é mostrado na Figura 8 (AMARAL; STEINMETZ; KUNZ, 2019b).



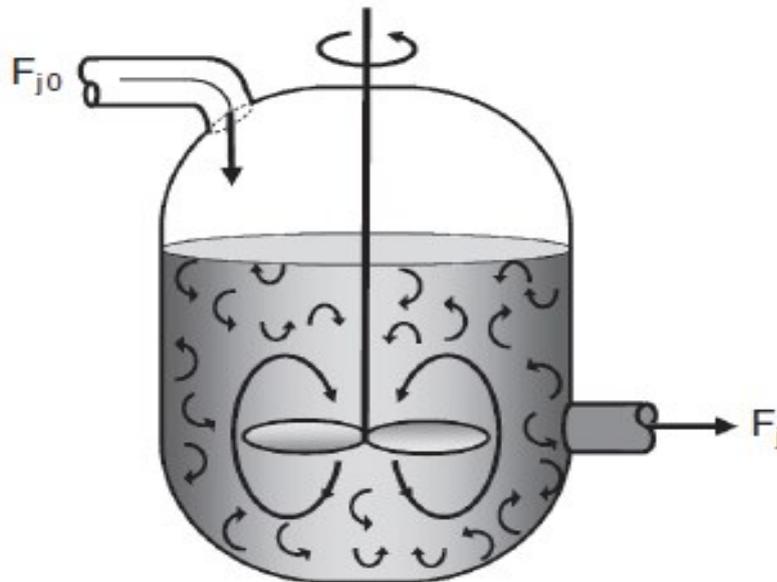
Fonte: Kunz, Amaral e Steinmetz (2019)

#### 4.3.2 Reatores CSTR

Os reatores de tanque agitado contínuos ou CSTR (do inglês *Continuous Stirred Tank Reactor*), são reatores que trabalham na maioria das vezes em regime estacionário, e são muito usados para materiais com reações em fase líquida, e que tenha uma mistura perfeita.

Na Figura 9 é apresentado um modelo de CSTR, onde pode se observar a entrada na parte superior e a saída parte inferior, um eixo com pás que homogeneízam o meio na parte interna do reator, podendo ter ou não chicanas, para assim auxiliar a mistura (FOGLER, 2014).

Figura 9 – Ilustração de um reator CSTR



Fonte: FOGLER (2014)

É comum, na cadeia do biogás, que reatores CSTR tenham agitação intermitente e não contínua, principalmente com o objetivo de diminuir o consumo de energia gasto na agitação.

A agitação, mesmo que intermitente, ajuda na troca de calor, deixa os sólidos suspensos aumentar a eficiência do tratamento, e ajuda também no aumento da produção de biogás gerado. No entanto, deve se observar o acúmulo de sólidos nesse tipo de sistema, uma vez que a ineficiência na agitação pode causar o acúmulo de sólidos não biodegradáveis.

O acúmulo de sólidos fixos (SF) nos biodigestores pode variar com o efluente que será tratado. Cada modelo de biodigestor tem a porcentagem de sólidos fixos máximo que o efluente pode ter, para que não ocorra o assoreamento do biorreator (AMARAL; STEINMETZ; KUNZ, 2019b)

#### 4.4 Biofertilizante

Os biofertilizantes ou digestato, pode ser considerado como um efluente dos biodigestores ou subproduto da digestão anaeróbia. É rico em nutrientes que podem ser usados na agricultura como suplementação do solo, podendo assim diminuir os custos da planta do biorreator com a venda para agricultores.

O digestato tem que passar por algumas análises para saber quais nutrientes

estão presentes nele e seus níveis. O efluente tratado pelo biorreator pode influenciar na composição do biofertilizante, podendo ter alguns nutrientes em excesso ou em falta. Outro fator que pode influenciar os níveis de nutrientes é o tempo de retenção dentro do biodigestor e o manejo do biofertilizantes, podendo assim acarretar na perda desses nutrientes encontrados no digestato.

Os principais nutrientes encontrados no digestato, principalmente, proveniente de biorreatores alimentados com dejetos animais ou resíduos de abatedouros são nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) (Nicoloso; Barros; Wuaden; Pigosso 2019).

## **4.5 Geração de energia**

### **4.5.1 Geração de energia no mundo**

A demanda de energia vem crescendo em todo o mundo e com isso há o aumento do interesse em fontes de energia alternativas.

Segundo a EPE (2022), as fontes de energia mais usadas no mundo em 2020 foram as energias não renováveis cerca de 85%, sendo que estas fontes tem uma elevada emissão de gases tóxicos prejudicando a atmosfera, o meio ambiente e ajudando no efeito estufa.

### **4.5.2 Geração de energias renováveis no Brasil**

O Brasil é reconhecido pelo mundo como uma potência em produção de energias renováveis, devido a vastas fontes encontradas no território nacional. Dados da EPE mostra que em 2020 o Brasil chegou à marca de 48,4% da fonte interna de energia sendo de fontes renováveis (biodiesel, eólica, biomassa, hidráulica) (EPE 2021).

A Figura 10 mostra alguns exemplos de matérias-primas utilizadas para geração de energias renováveis e não renováveis.

Figura 10 – Fontes de geração de energia no Brasil



Fonte: Relatório Síntese (2021)

## 5 METODOLOGIA

Neste estudo foram feitas análises de efluente por amostragem antes e após o tratamento em biodigestor anaeróbio. O efluente coletado para o estudo foi do Frigorífico Santa Barbara LTDA, na cidade de Francisco Beltrão, Paraná.

Estas amostras foram coletadas uma vez ao mês, com o início em junho de 2022. Sendo transportadas em recipientes de 3.000 ml, do local de coleta até os laboratórios da UTFPR câmpus Francisco Beltrão.

As análises dos efluentes coletados foram realizadas nos laboratórios da UTFPR-FB. No Quadro 1 são apresentadas as análises, pontos de coleta de amostra, metodologia utilizada e os equipamentos utilizados nas análises.

**Quadro 1 – Análises há serem feitas mensais**

<b>Análises</b>	<b>Pontos de retirada de amostra</b>	<b>Metodologia</b>	<b>Equipamentos utilizados para as análises</b>
Carga Orgânica volumétrica (COV)	Entrada e Saída do Biodigestor	Metodologia apresentada por Kunz, Amaral e Steinmetz (2019)	Estufa Mufla
Sólidos Totais, Sólidos Fixos, Sólidos Voláteis.	Entrada e Saída do Biodigestor	Método descrito por Antonio Teixeira de Matos (2015)	Estufa Mufla Dessecador
Óleos e graxos	Entrada e Saída do Biodigestor	Método de extração de Soxhlet (1879)	Extrator Soxhlet
Teor nitrogênio totais Kjeldahl (NTK) e NH <sub>3</sub>	Entrada e Saída do Biodigestor	Método semimicro Kjeldahl	Bloco de digestão Destilador de nitrogênio
pH e Temperatura	Entrada e Saída do Biodigestor	Sem metodologia específica	Potenciômetro portátil
Alcalinidade Intermediária /Alcalinidade Parcial (AI/AP)	Saída do Biodigestor	Método FOS/TAC	Bureta Erlenmeyer
Vazão de Efluente	Entrada do Biodigestor	Sem metodologia específica	Béquer Cronometro
Qualidade do Biogás	Saída do Biodigestor	Sem metodologia específica	Equipamento Biogás5000 Geotech

**Fonte: Autoria Própria (2023)**

## 5.1 Técnicas analíticas

### 5.1.1 Carga Orgânica Volumétrica (COV)

A carga orgânica volumétrica que alimenta o biorreator foi calculada utilizando a equação 1 descrita por Amaral, Steinmetz e Kunz (2019a).

$$COV = \frac{(Q \times S_v)}{V} \quad (1)$$

$$COV = \frac{S_v}{TRH} \quad (1.1)$$

Em que:

COV = Carga Orgânica Volumétrica ( $\text{Kg}_{\text{sv}} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ ).

Q = Vazão ( $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ )

$S_v$  = Concentração de Sólidos Voláteis presentes no substrato ( $\text{Kg} \cdot \text{m}^{-3}$ )

V = Volume do Reator ( $\text{m}^3$ )

TRH = Tempo de retenção hidráulica (d)

### 5.1.2 Sólidos Totais, Sólidos fixos e Sólidos voláteis (ST, SF, SV)

Neste estudo foi usada a metodologia de análises referente ao livro Manual de Análise de Resíduos Sólidos e Águas Residuárias de Antonio Teixeira de Matos (2015).

### 5.1.3 Óleos e graxos (gorduras totais)

Foi feito pelo método de extração em Soxhlet (1879), no qual se utiliza como materiais: aparelho de extração de Soxhlet; bomba de vácuo; funil de Buchner; manta ou chapa elétrica de aquecimento; cartucho de extração; frasco de vidro; papel filtro; disco de tecido musselina. Os reagentes: ácido clorídrico 50% v/v; solvente orgânico (n-hexano ou éter de petróleo);

O procedimento ocorreu da seguinte forma:

Realizou uma marca no frasco da coleta, no menisco da água para posterior determinação do volume da amostra. Caso a amostra não tenha sido preservada no

momento da coleta, acidificar com 5 mL de HCl a 50% para cada litro da amostra.

Preparar um filtro consistindo de um disco de musselina e papel filtro sobreposto. Colocar o filtro preparado no funil de Buchner e umedecer o filtro, pressionando as bordas de modo a assegurar completa vedação. Com a bomba de vácuo em funcionamento, colocar 100 mL da suspensão de sílica/diamotácea.

Lavar com litro de água destilada. Continuar com o processo até completar a remoção da água destilada.

Filtrar a amostra acidificada através do filtro preparado, aplicando vácuo até que não passe mais água através do filtro.

Transferir o papel de filtro e todo material sólido retido no disco de musselina para um vidro de relógio com auxílio de uma pinça. Limpar a parte interna do funil de Buchner e do frasco de coleta com pedaços de papel filtro embebido em solvente orgânico. Colocar o papel filtro usado para essa limpeza também sobre o vidro de relógio.

Foi dobrado o papel filtro e introduzido no cartucho de extração. Foi limpo o vidro de relógio com pedaços de papel filtro embebido em solvente orgânico e colocado também estes pedaços dentro de um cartucho de extração.

Completar o cartucho de extração com pérolas de vidro ou algodão de vidro, foi seco a 105 graus, em estufa por exatamente 30 minutos.

Pesar o frasco de destilação, que foi seco previamente a 103 °C. Acrescentar o solvente orgânico, conectado o aparelho de Soxhlet com o cartucho de extração.

Foram extraídos os óleos e graxas, na vazão de 20 ciclos por hora, durante 5 horas de extração, a partir do primeiro refluxo.

Evaporar o solvente do frasco de extração em banho maria de 70 °C. Foi colocado o frasco em banho de vapor morno por 15 minutos e removido os vapores orgânicos passando ar, utilizando uma bomba de vácuo, por 1 minuto.

Resfriar no dessecador, por 30 minutos e pesar.

Através da equação 2 foi possível determinar o teor de óleos e material graxo.

$$\frac{\text{Mg de óleo ou graxa}}{L} = \frac{(B-A) 100}{\text{Vol.Da amostra (L)}} \quad (2)$$

Onde:

B= Peso em mg do balão vazio + resíduo;

A= Peso em mg do balão vazio;

#### 5.1.4 Teores NTK (nitrogênio totais Kjeldahl) e teor de NH<sub>3</sub>

Para estimar o teor de NTK e de NH<sub>3</sub> das amostras, foi utilizado o método semimicro Kjeldahl, descrito em Manual de análise de resíduos sólidos e águas residuárias do Antonio Teixeira de Matos (2015).

Foi utilizado também a equação 3, retirada do livro de Kunz; Amaral; Steinmetz (2019), no qual é possível calcular a real concentração da amônia livre (AL) dentro do biodigestor e assim verificar se as concentrações do mesmo estão elevadas ou baixas no meio reacional.

$$AL = \frac{17}{14} x \frac{(total\ de\ amonia\ como\ N) 10^{pH}}{e^{\left[\frac{6344}{273+T(^{\circ}C)}\right]+10^{pH}}} \quad (3)$$

Onde: AL = Amônia Livre (mg L<sup>-1</sup>),

#### 5.1.5 pH e Temperatura

O pH e a temperatura foram medidos com o uso de potenciômetro portátil da marca Hanna, modelo HI 8424. A medida foi realizada *in loco*; entrada e na saída do biorreator no momento da coleta das amostras. Os valores registrados pelo pHmetro foram tabulados para posterior interpretação.

#### 4.1.6 Alcalinidade Intermediária / Alcalinidade Parcial (AI/AP)

Foi feita a análise de Alcalinidade Intermediária /Alcalinidade Parcial (AI/AP) onde AI são os ácidos de cadeia curta e o AP é a alcalinidade.

A obtenção da AP foi realizada com a titulação da amostra com ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) 0,1N, até o pH de 5,0 e calculada a través da equação 4.

$$AP = V_{\acute{a}cido} \cdot 250 \quad (4)$$

Onde:

AP = Alcalinidade Parcial (mg CaCO<sub>3</sub> / L).

V<sub>ácido</sub> = Volume de ácido consumido na titulação (mL).

A AI foi obtida pela titulação da amostra do efluente, com ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) 0,1N, até o pH de 4,4; após este processo, os dados obtidos na titulação foram avaliados com auxílio da equação 5.

$$AI = (V_{\text{ácido}} \cdot 1,66) - 0,15) \cdot 500 \quad (5)$$

Onde:

AI = Alcalinidade parcial (mgHAc / L)

$V_{\text{ácido}}$  = Volume de ácido consumido na titulação (mL)

#### 5.1.7 Vazão de efluente

A vazão de efluente foi medida com o auxílio do registro de vazão de água da empresa que se localizava em cima do poço de água que o frigorífico utilizava para abastecer a empresa e com um cronometro digital. Assim era possível saber o quanto que a empresa estava utilizando de água por hora e o quanto de efluente entrava no biodigestor.

#### 5.1.8 Análise da qualidade do biogás

Para analisar os gases presentes no biogás mensalmente, foi utilizado o equipamento biogás 5.000, da marca Landtec, em que foram analisados os gases  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ .

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção, serão apresentados os resultados encontrados a partir das análises de entrada e saída do biodigestor durante o período de monitoramento e serão discutidos os resultados por item aprestado no Quadro 1.

### 6.1 Medições da vazão de efluente de entrada do biodigestor

A vazão foi estimada utilizando o medidor de vazão de água instalada no poço de água potável da empresa como a **Erro! Fonte de referência não encontrada**.nos mostra. Visto que todo o volume de água que sai desse poço vai para o frigorifico e depois segue para o biodigestor levando juntamente os desejos dos abastes, só assim foi possível estimar a vazão que adentrava no biodigestor.

Figura 11 – registro de vazão de água do poço



Fonte: Aatoria Própria (2023)

Na Tabela 2 demonstra os valores da vazão de entrada de efluente do biodigestor em metros cúbicos ( $m^3$ ), a quantidade de bovinos abatidos no dia da coleta e a média de vazão por cabeça de gado abatida a cada mês.

**Tabela 2 – Dados de entrada do Biodigestor ao longo do tempo**

Meses	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro
Vazão (m <sup>3</sup> )	31	30	30	29	23
Bovinos abatidos	32	30	60	60	60
Média (água gasta / cabeça abatida)	0,969	1,000	0,500	0,483	0,383

Fonte: Autoria Própria (2023)

Notou-se que a vazão não era proporcional a quantidade de abates que ocorria por dia, como é visto na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, onde nos dois primeiros meses de estudo (julho e agosto) a média da vazão oscilava próximo de 1 m<sup>3</sup>, enquanto nos outros três meses de estudo. A média começou a reduzir ficando próximo de 0,500 m<sup>3</sup> nos meses setembro e outubro, chegando a 0,383 m<sup>3</sup> no mês de novembro.

Estes valores obtidos de vazão podem ser um indicador de que o efluente de entrada do biodigestor tem concentrações de sólidos baixas, devido ao alto volume de água utilizada durante os abates.

Ao analisar os resultados obtidos da Tabela 4 com os da **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, mostra que nos meses que a vazão de água foi igual ou inferior a 0,500 m<sup>3</sup> as concentrações de ST e SV tiveram um aumento, e que os meses que a vazão foi próxima de 1 m<sup>3</sup> foram os que tiveram um declínio nas concentrações de ST e SV.

Podendo assim ser possível indicar que vazões elevadas de água podem diluir o efluente de entrada, o que fará com que o TRH seja diminuído, interferir no pH, nas concentrações de dos sólidos e amônia.

## 6.2 Descrição dos resultados da Carga Orgânica Volumétrica (COV)

Na Tabela 3 são demonstrados os resultados obtidos da carga orgânica volumétrica (COV) do efluente de entrada e o de saída do biodigestor estudado.

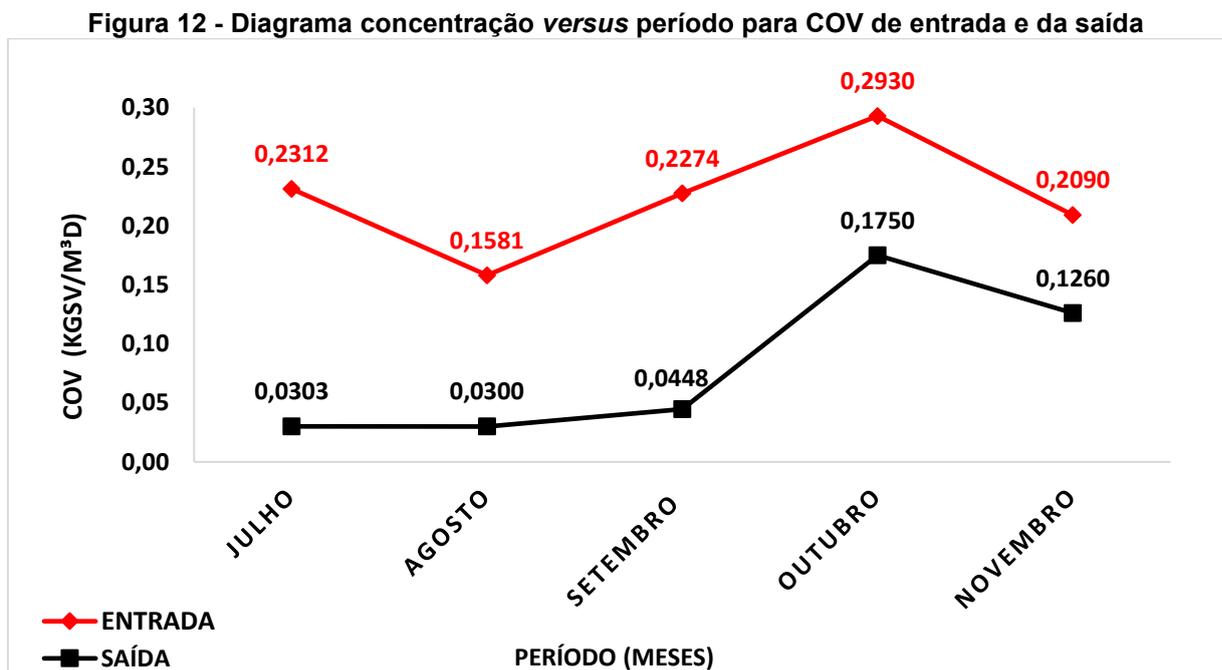
**Tabela 3 –COV de entrada e saída**

COV / Mês	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro
Entrada (Kg <sub>sv</sub> /m <sup>3</sup> d)	0,2312	0,1581	0,2274	0,2930	0,2090
Saída (Kg <sub>sv</sub> /m <sup>3</sup> d)	0,0303	0,0300	0,0448	0,1750	0,1260

Remoção (Kg <sub>sv</sub> /m <sup>3</sup> d)	0,2009	0,1281	0,1826	0,1880	0,0830
---	--------	--------	--------	--------	--------

Fonte: Autoria Própria (2023)

Para melhor visualização dos resultados da Tabela 3 foram plotados os resultados no formato de diagrama concentração *versus* período, como mostra a Figura 12.



Esses resultados obtidos indicam que as cargas orgânicas no efluente de entrada são inferiores as quantidades ideais para este biodigestor, visto que cada biodigestor tem uma faixa de COV ideal para o seu melhor funcionamento.

Segundo Amaral; Steinmetz; Kunz (2019b) para um biodigestor CSTR a faixa ótima de entrada de COV é de 1 a 4 Kg<sub>sv</sub>/m<sup>3</sup>d. Logo é visto que o biodigestor estudado neste trabalho está recebendo uma COV abaixo da ideal. Devido a essas quantidades baixas de carga orgânica na entrada é possível que a relação microrganismo/substrato esteja sendo desfavorável para os microrganismos.

Nota-se que as concentrações de saída estão abaixo das de entrada. Esses valores podem nos mostrar que o biodigestor está tendo uma eficiência na retirada de materiais orgânicos do efluente em média de 82,9%.

Essa remoção pode ser um indicador que os microrganismos estão tendo boa

eficiência na remoção das cargas orgânicas, mesmo recebendo COV baixas da ideal.

### 6.3 Análises dos Sólidos totais, Sólidos Fixos e Sólidos Voláteis

Na Tabela 4 é mostrado os resultados obtidos dos sólidos totais (ST), sólidos fixos (SF) e sólidos voláteis (SV) que foram observadas durante as análises do efluente que adentra e do que sai do biodigestor durante o período de estudo.

**Tabela 4 – Resultados dos ST, SF e SV**

Sólidos	/	Mês	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro
Totais (g/L)			8,1605	5,5250	7,6535	10,4210	7,3950
Fixos (g/L)	Entrada		1,2260	0,7820	0,8330	1,6095	1,1150
Voláteis (g/L)			6,9345	4,7430	6,820	8,8020	6,2800
Totais (g/L)			1,8180	1,7260	2,3135	2,8490	1,8000
Fixos (g/L)	Saída		0,9105	0,8020	0,9700	2,8490	0,9200
Voláteis (g/L)			0,9075	0,9240	1,3435	1,7540	0,8800

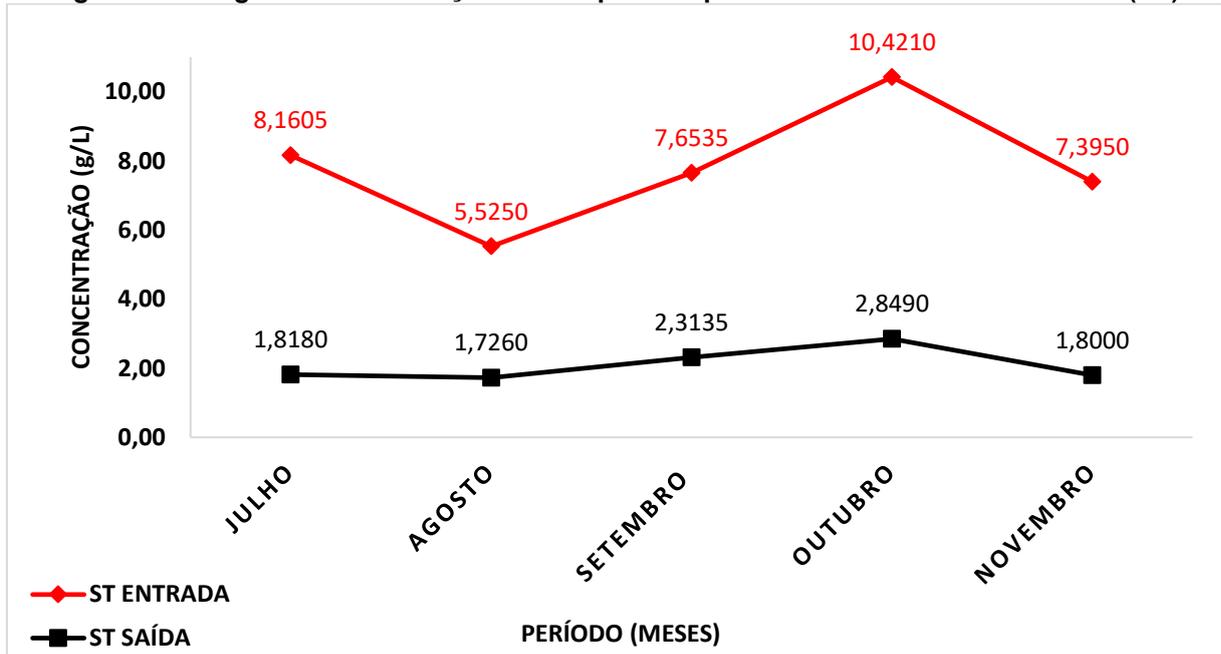
**Fonte: Autoria Própria (2023)**

Neste estudo foi realizado uma análise para cada um dos sólidos citados anteriormente na Tabela 4 e plotado um gráfico para cada um deles como mostram as Figura 13, Figura 14 e Figura 15.

#### 6.3.1 Sólidos Totais (ST)

Na Figura 13 encontra-se a variação das concentrações obtidas dos Sólidos Totais (ST) presentes nas amostras coletadas do efluente de entrada e saída do biodigestor.

Figura 13 - Diagrama concentração versus período para sólidos totais das amostras (ST)



Fonte: Autorial Própria (2023)

Segundo Aires (2012) as concentrações de ST que entra no biodigestor tem uma importância na geração de biogás, pois estão relacionadas ao consumo dos microorganismos com os substratos. Segundo Mendonça *et al.* (2021) quanto maior o TRH maior será a retirada dos sólidos devido ao acréscimo de tempo que os microorganismos terão em contato com o efluente, podendo otimizar a produção de biogás.

Os ST pode ser calculado somando a quantidade de material orgânico presente no efluente (Sólidos Voláteis) com o material inorgânico (Sólidos Fixos) (AMARAL; STEINMETZ; KUNZ, 2019b). Se a porcentagem de material orgânico for maior que a de material inorgânico é possível que a produção de biogás seja favorecida.

Nos meses de que ocorreu o estudo no biodigestor foi possível contabilizar a quantidade de abates que tiveram no dia da coleta das amostras e a quantidade de água consumida no dia em questão. Foi observado que setembro, outubro e novembro tiveram as maiores quantidades de abates com 60 cabeças abatidas em cada mês.

Novembro foi o mês com menor consumo de água, com 23 m<sup>3</sup> durante o período de estudo, podendo ser um indicador que ao abater mais cabeças de gado e consumir menos volume de água as concentrações de ST podem ser elevadas, assim podendo ter uma quantidade de material orgânico maior para os microorganismos.

Os resultados obtidos de ST da saída do biodigestor estão abaixo dos valores de entrada. Esses dados podem ser indicadores que os microorganismos estão conseguindo consumir uma parcela elevada desses sólidos, indicando que boa parte desses ST são matérias orgânicos.

A Tabela 5 mostra em porcentagem o quanto desse ST podem ter sido consumidos pelos microorganismos do biodigestor ao longo do período avaliado.

**Tabela 5 – Porcentagem de ST que foi consumido no Biodigestor**

Meses	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro
Porcentagem de ST removidos (%)	77,72	68,76	69,77	72,66	75,66

**Fonte: Autoria Própria (2023)**

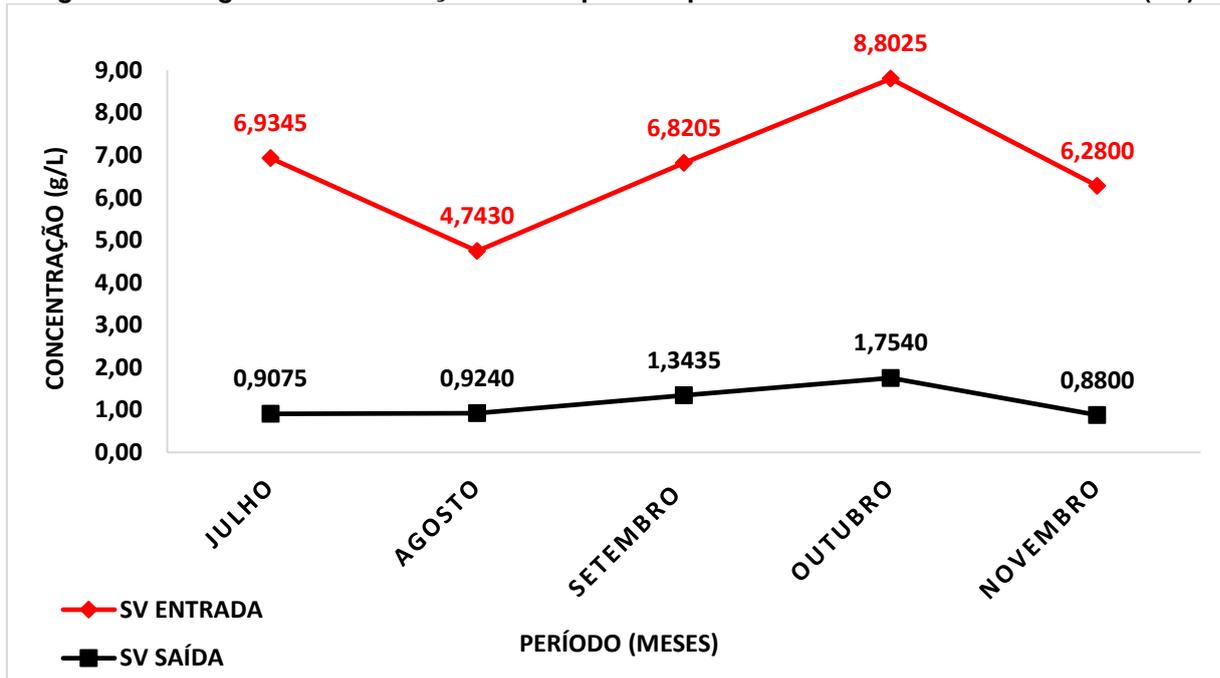
Como mostra a Tabela 5 a maior porcentagem de sólidos que entra no biodigestor pode ser de material orgânico, sendo um bom indicador que o efluente tem potencial de suprir as necessidades nutricionais dos microorganismos e assim aumentar a produção de biogás.

### 6.3.2 Sólidos Voláteis (SV)

Na Figura 14 mostra o quanto estava entrando no biodigestor de sólidos voláteis (SV) e o quanto estava saindo. É possível ver que a quantidade que sai do biodigestor é mais abaixo do que entra em todos os meses de coleta de amostras, esses resultados obtidos podem ser um sinal de que os microorganismos estão consumindo esses sólidos voláteis do efluente quase que por completo.

Assim é possível verificar se o efluente que está entrando o biodigestor tem quantidades de nutrientes para suprir as necessidades dos microorganismos.

Figura 14 - Diagrama concentração versus período para sólidos Voláteis das amostras (SV)



Fonte: Autoria Própria (2023)

Para melhor entendimento, a Tabela 6 mostra a porcentagem que está possivelmente sendo consumida de sólidos voláteis pelo biodigestor e o que não está sendo consumido.

Tabela 6 – Porcentagem de SV que foi consumido e que sai do Biodigestor

Meses	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro
Porcentagem de SV consumido (%)	86,91	80,52	80,30	80,07	85,99
Porcentagem de SV que sai do biodigestor (%)	13,09	19,48	19,70	19,93	14,01

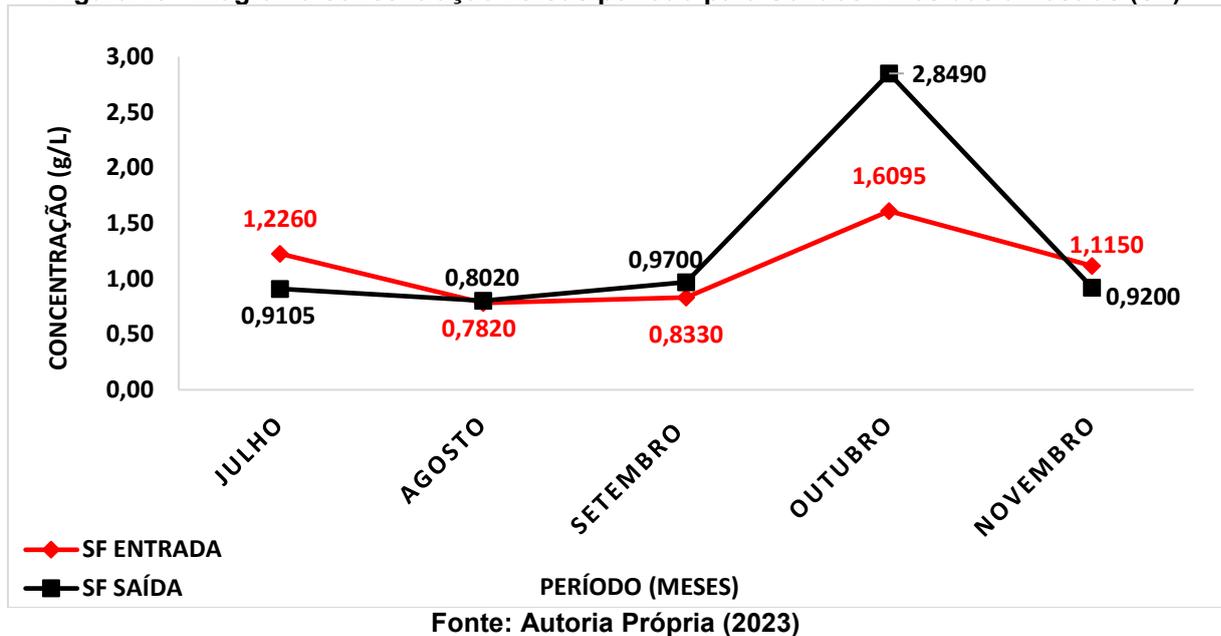
Fonte: Autoria Própria (2023)

Comparando com os resultados obtidos por Mendonça *et al.* (2021), onde o biodigestor estudado removeu cerca de 43,7% de SV do efluente, o biodigestor do presente estudo obteve ótimo rendimento de remoção de SV. No momento de menor eficiência o resultado foi de 80,03% e o melhor foi de 86,91%. Os resultados mostram que o efluente que está entrando no biodigestor está tendo uma remoção considerável de SV.

### 6.3.3 Sólidos Fixos (SF)

Na Figura 15 foi plotado o comportamento dos sólidos fixos (SF) entrando e saindo do biodigestor, onde os SF são considerados materiais inorgânicos, ou seja, que os microrganismos não conseguem degradar, como areia.

Figura 15 - Diagrama concentração versus período para Sólidos Fixos das amostras (SF)



Pelos dados obtidos para os SF é possível notar que em alguns meses teve um acúmulo de SF no interior do biodigestor, podendo assim aumentar o volume de lodo e diminuindo o volume útil com o passar dos anos e consequentemente diminuir a eficiência.

Os meses de agosto, setembro e outubro tiveram uma saída de SF maior que a da entrada. Esses resultados podem ser indicativos que a agitação realizada pelo agitador está funcionando de forma satisfatória, assim eliminando os SF de dentro do biodigestor e consequentemente não causando possível assoreamento do mesmo.

### 6.3.4 Relação SV/ST.

A relação SV/ST é calculada para mostrar indiretamente a concentração de biomassa do reator, onde segundo Gonçalves (2001), esta razão tem que ficar entre 0,60 e 0,65 para lodos digeridos, para caracterizar um desempenho adequado do biodigestor, valores altos da relação SV/ST podem indicar a instabilidade do lodo, pois

a uma quantidade elevada de material orgânico no sistema.

No biodigestor estudado essa relação SV/ST de saída ficou com a média de 0,5439, como mostra a Tabela 7. É visto que os valores de SV/ST ficaram a abaixo dos parâmetros estipulados por Gonçalves (2001), indicando que o biodigestor pode não estar com um desempenho adequado para seu funcionamento, e assim tendo uma baixa concentração de material orgânico no meio reacional.

**Tabela 7 – Relação SV/ST ao longo dos meses.**

Meses	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro
SV/ST na saída	0,4992	0,5353	0,5807	0,6157	0,4889
Média					0,5439

Fonte: Autoria Própria (2023)

#### 6.4 Determinação de óleos e graxas

Na Tabela 88 encontra-se os resultados obtidos do teor de óleos e graxas do efluente de entrada e o de saída do biodigestor.

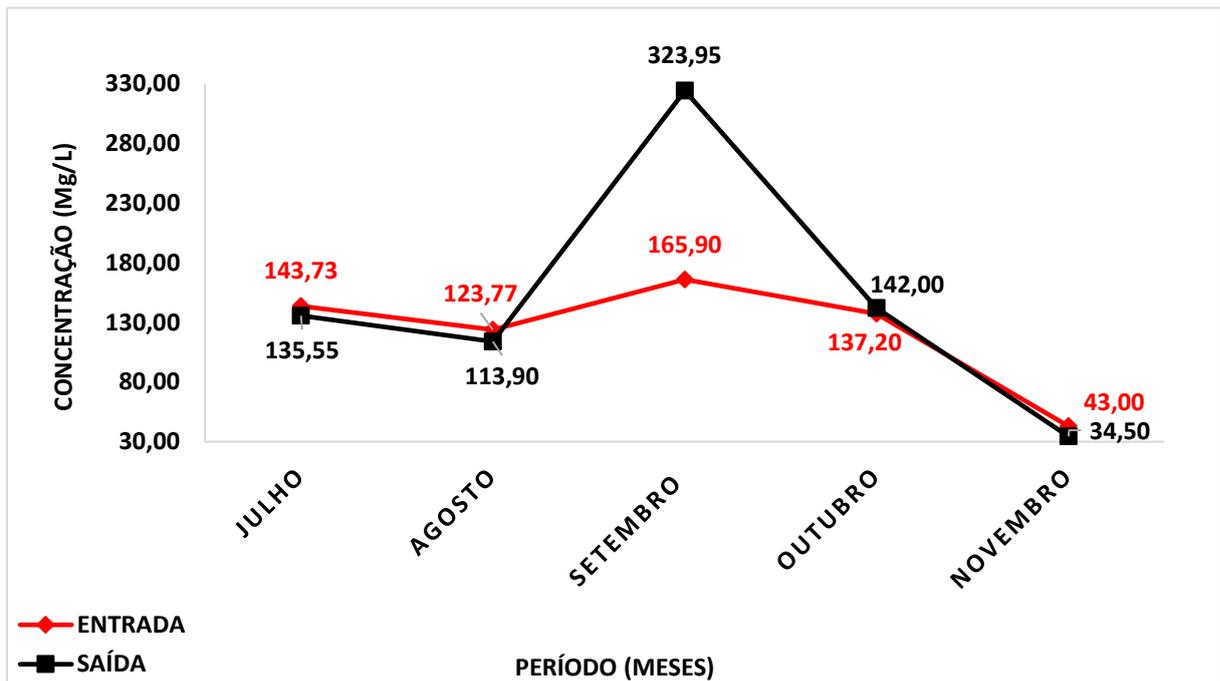
**Tabela 8 – Resultados das análises dos óleos e graxas**

Óleos e graxa / Mês	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro
Entrada (g/L)	143,73	123,77	165,90	137,20	43,00
Saída (g/L)	135,55	113,90	323,95	142,00	34,50
Acúmulo (g/L)	8,18	9,87	-158,05	4,8	8,5
Média de acúmulo (g/L)					7,84

Fonte: Autoria Própria (2023)

Os resultados obtidos da Tabela 8 foram plotados em um gráfico para que possa ser visto o comportamento dos resultados durante o período de estudo, como mostra a Figura 16.

Figura 16 – Diagrama concentração versus período para óleos e graxas ao longo do tempo



Fonte: Autoria Própria (2023)

O resultado do mês de setembro ficou com um valor maior de saída do que de entrada. Esse resultado é incomum comparado com os outros meses. Uma possibilidade é um erro de amostragem ou de análise, o que justificaria um valor muito acima do observado nas demais coletas.

Os resultados obtidos mostram que quase a totalidade de gordura que entra no biodigestor está saindo, visto que não está ocorrendo um tratamento para remoção de óleo e graxa do efluente.

Os dados mostram que a uma remoção de gordura dentro do biodigestor com a média de 7,84 g/L, essa média foi obtida desconsiderando o mês de setembro.

As gorduras são ótimos substratos para produção de biogás, pois segundo Tápparo *et al.* (2018) a adição de gordura com efluente de frigoríficos pode ajudar a aumentar 2,9 vezes a produção de biogás, pois o processo de hidrólise consegue consumir apenas uma parte da gordura e transformar em açúcares de cadeia curta, assim favorecendo a produção.

Está quantidade que fica dentro do biodigestor de gordura pode estar sendo consumida como nutriente para os microrganismos, e assim não tem um acúmulo significativo. Isso podendo indicar que as hélices de agitação dentro do biodigestor estão fazendo uma agitação favorável para que os microrganismos tenham um contato maior com os nutrientes do efluente e não tendo acúmulo de gordura no

biodigestor.

Visto que não está ocorrendo um tratamento no efluente voltado para a remoção de óleos e gorduras, o mesmo não pode ser lançado em rios. Segundo a CONAMA (2011) a concentração de óleo e graxa máxima permitida para que o efluente possa ser lançado em um rio é de 50 mg/L para óleo vegetais e gorduras animais. Logo o efluente estudo não pode ser lançado ao rio sem antes passar por um tratamento de redução das concentrações de óleos e graxas.

### 6.5 Quantificação de Nitrogênio Totais Kjeldahl e o Nitrogênio Amoniacal Total

Durante o estudo foram realizadas as análises para encontrar a porcentagem de Nitrogênio Totais Kjeldahl (NTK) e do Nitrogênio amoniacal ( $\text{NH}_3$ ) dos efluentes de entrada e saída do biodigestor a cada mês do estudo, onde a Tabela 9 mostra os resultados obtidos.

**Tabela 9 – Porcentagem de entrada e saída do NTK e  $\text{NH}_3$**

Porcentagem / Mês	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro
%NTK Entrada	--	7,0822	12,3007	13,0463	11,555
	0,7641	3,3547	4,4730	5,9640	5,6658
%NTK Saída	--	6,7095	10,8098	10,4370	7,4550
	2,2924	4,4730	8,5732	9,6915	6,7095

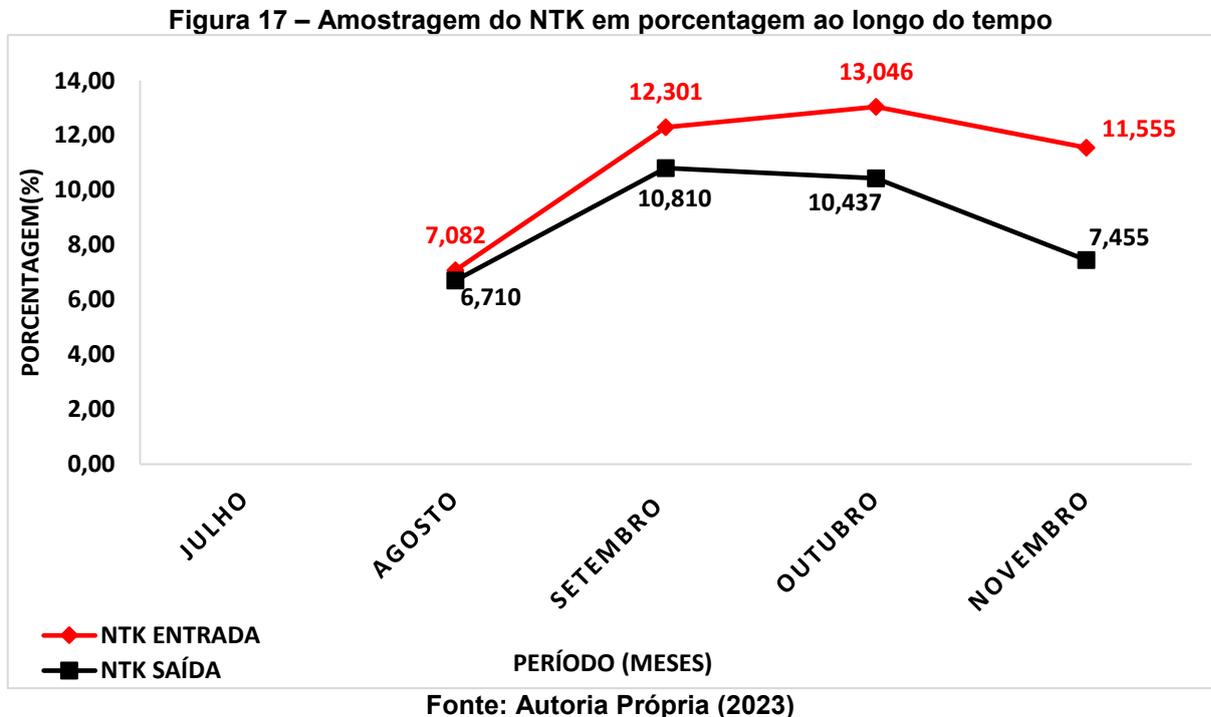
**Fonte: Autoria Própria (2023)**

Para melhor visualização e discussão dos resultados foi separada em subtópicos.

#### 6.5.1 Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK)

Na Tabela 9 é visto que no mês de julho não houve resultados de NTK, pois ocorreu um erro experimental durante o uso do destilador de nitrogênio, nessas ocasiões foram perdidas todas as amostras e não foi possível averiguar a porcentagem de NTK do efluente nesse mês. Nos meses restantes foi corrigido o erro e foi possível ter os resultados.

A Figura 17 mostra os resultados em porcentagem por mês obtidos pelas análises do NTK.



Ao estimar a porcentagem do NTK nas amostras necessita-se levar em consideração que é uma soma de dos nitrogênios orgânicos e inorgânicos como amônio e a amônia presentes no efluente analisado (GOYAL, 2022).

Na Figura 17 mostra que há uma redução da porcentagem do NTK que entra no biodigestor em relação ao que sai. Esta redução pode ser devido ao consumo do nitrogênio orgânico pelas microrganismos, visto que segundo Kunz; Amaral; Steinmetz (2019) o nitrogênio é um nutriente importante para o crescimento celular dos microrganismos, mas em quantidades elevadas podem ser tóxicas para o meio e assim prejudicando o biodigestor.

A Tabela 10 mostra o quanto de redução de NTK teve em cada mês, cada vez que se passava o mês a redução era maior; uma redução inicial de 5,26% no mês de agosto e chegando ao mês de novembro com 35,48% de redução.

**Tabela 10 – Porcentagem de remoção de NTK**

Porcentagem / Mês	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro
%NTK	--	5,26	12,12	20,00	35,48

Fonte: Autoria Própria (2023)

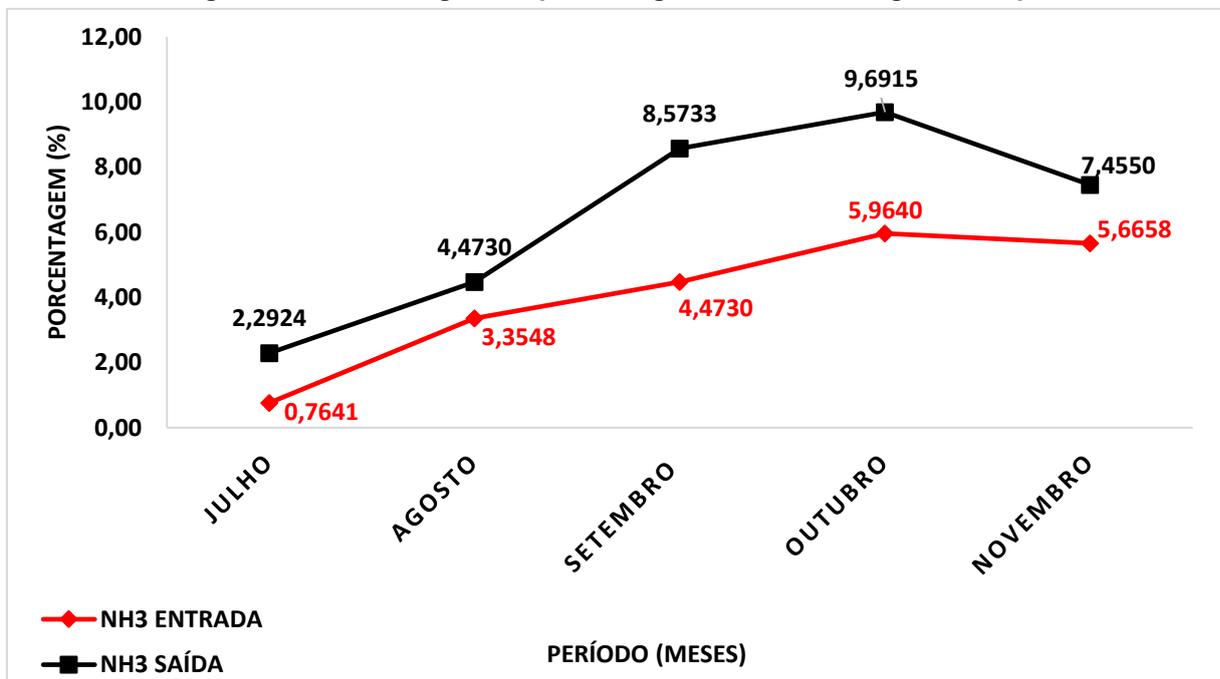
Comparando os resultados obtidos nesse trabalho com o trabalho de Silva (2018), onde no estudo feito em um biodigestor de leito fixo, a autora obteve média de remoção inicial de NTK de 81,8% e no final do estudo média de 93%, enquanto nesse estudo, os meses de agosto, setembro, outubro tiveram uma redução baixa e no mês de novembro teve a maior remoção com 35,48%.

A digestão Anaeróbia no início do estudo não teve um consumo de NTK satisfatório. Um possível motivo do baixo consumo pode ser derivado das baixas concentrações de entradas de COV no biodigestor, podendo afetar os microrganismos.

### 6.5.2 Nitrogênio Amoniacal (NH<sub>3</sub>)

Na Tabela 9 é visto que a entrada é maior que a saída de NH<sub>3</sub>. Para ficar mais visível, esses dados obtidos foram plotados em um gráfico que mostra em porcentagem de NH<sub>3</sub> durante os meses do estudo, como é mostrado na Figura 18.

Figura 18 – Amostragem da porcentagem de NH<sub>3</sub> ao longo do tempo



Fonte: Autoria Própria (2023)

Como é mostrado na Figura 18 ocorre um acréscimo do nitrogênio amoniacal no efluente gerado pelo biodigestor em todos os meses. Esse acréscimo é ocasionado pela degradação do nitrogênio orgânico, presente nas proteínas, pois, a fermentação

destes materiais com elevadas concentrações de proteína e com o auxílio do pH de da temperatura dentro do biodigestor pode ter uma elevada liberação de amônia (KUNZ; AMARAL; STEINMETZ, 2019). Por este motivo o nitrogênio amoniacal na saída é maior do que o da entrada, mas em elevadas quantidades pode ser tóxico ao meio reacional do biodigestor.

O nitrogênio amoniacal total é a soma do gás amônio ( $\text{NH}_3$ ) com o íon amônia ( $\text{NH}_4^+$ ). Segundo BORTOLI; PRÁ; KUNZ, (2019) a forma livre  $\text{NH}_3$  é toxico para as arqueas metanogênicas, podendo inibir a digestão anaeróbia e prejudicar a produção de biogás, pois, o nitrogênio amoniacal tem uma facilidade de se difundir pela membrana celular dos microrganismos. No capítulo 1 de seu livro Kunz; Amaral; Steinmetz. (2019), eles falam que esta inibição pode ocorrer em concentrações de 200 até  $375 \text{ mg.L}^{-1}$ , dependendo do pH e da temperatura do meio reacional do biodigestor. Utilizando a equação (4) foi possível calcular o valor da amônia livre presente no biodigestor e a Tabela 11 – Valores de Amônia livre no biodigestor. mostra esses valores utilizando o pH médio de saída de cada mês de estudo. A temperatura usada foi de  $35 \text{ }^\circ\text{C}$ . Essa temperatura foi retirada do livro do Kunz; Amaral; Steinmetz (2019), onde esse valor utilizado fica dentro dos padrões de ótimo funcionamento dos microrganismos anaeróbios mesofílicos que seria de  $25 \text{ a } 42 \text{ }^\circ\text{C}$ .

**Tabela 11 – Valores de Amônia livre no biodigestor.**

AL / Mês	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro
Concentração ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	0,0419	0,0076	0,0175	0,0234	0,0191

**Fonte: Aatoria Própria (2023)**

Com esses resultados obtidos através da equação 4 e visto pela Tabela 11 é possível ver que em nenhum mês o AL chegou próximo dos valores de concentrações de poderiam inibir as arqueas metanogênicas.

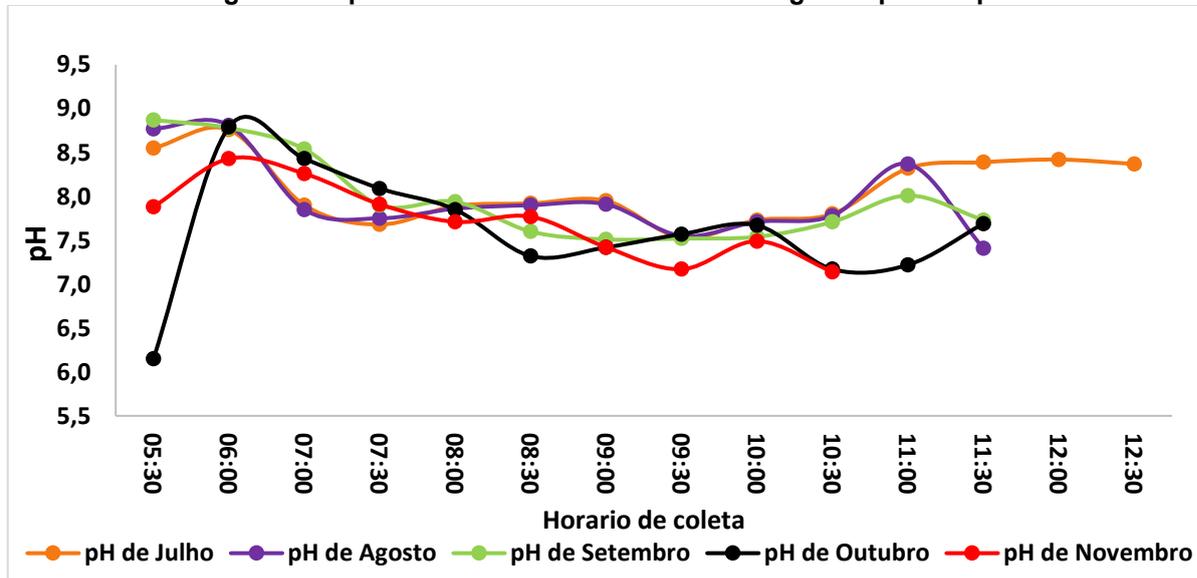
## 6.6 Medidas do pH

As tabelas com os resultados do pH obtido juntamente com o horário que foi coletado as amostras e os meses das coletas estão no APÊNDICE A – Tabelas do pH obtidos durante o período de estudo

Figura 19 mostra o comportamento do pH do efluente em cada mês que foi

coletado as amostras juntamente com o horário das coletas.

Figura 19 – pH do efluente de entrada do biodigestor por tempo



Fonte: Autoria Própria (2023)

Nota-se que durante o estudo os valores de pH da entrada estiveram entre 6,00 a 9,00, sendo que o menor valor registrado de pH foi 6,15 no mês de outubro e o maior valor registrado foi de 8,87 em setembro.

Esses resultados obtidos de pH estão próximos da faixa de pH ótimo das arqueas metanogênicas, que fica entre 6,7 a 7,5, visto que as arqueas são responsáveis pela produção do biogás (KUNZ; AMARAL; STEINMETZ,2019).

Conforme Karlsson *et al.* (2014) para uma elevada produção de biogás o pH deve ser manter na faixa de neutralidade (7,0 a 8,5). Os resultados obtidos nas análises mostram que no começo dos abates o pH era próximo de 8,5 e com o decorrer dos abates ele se aproxima de 7, e ao final do dia ele volta a subir para próximo de 8,5.

Nota-se que os resultados obtidos podem indicar que os produtos de limpeza utilizados para limpar o frigorífico e os equipamentos antes dos abates são alcalinos (pH acima de 7) pois, ao medir o pH do efluente antes dos abates iniciarem o pH ficou próximos de 8, exceto em outubro que o pH foi abaixo de 7. Já ao final dos abates onde ocorre mais uma limpeza do local e dos equipamentos o pH ficou acima de 7 podendo indicar que foi usado os mesmos produtos de limpeza ou semelhantes.

Segundo Menezes (2019), os detergentes são vendidos como decapantes (pH abaixo de 7), desengordurantes (pH acima de 7) ou doméstico (pH igual a 7). A

ANVISA (2010) fala que detergentes são produtos que diminuem a tensão superficial, logo são destinados a limpeza de superfícies. Já os desinfetantes não tem um determinado padrão de pH, mas as embalagens dos produtos mostrem o valor do pH, visto que os desinfetantes tem a função de matar todos os microrganismos não esporulados (AGOSTINHO, 2021).

Segundo o frigorífico estudado, os produtos de limpeza utilizados para a desinfecção do local e dos equipamentos são da marca QUIMITOL, onde os produtos utilizados dessa marca são os detergentes, desinfetantes à base de quaternário de amônia, agentes líquidos alcalinos, espumante para limpeza geral e hipoclorito de sódio (12%). No boletim técnico que a QUIMITOL fornece o pH do detergente de 8,0 +/- 0,5; o desinfetante tem o pH de 8,75 +/- 1,75; o agente alcalino com o pH de 12,75 +/- 0,75 e o hipoclorito tem o pH >12,00.

Logo é visto que o pH do efluente que adentra no biodigestor antes dos abates e depois tem pH superior a 7, devido à presença desses produtos de limpeza. Durante o período dos abates o pH fica próximo de 7, pois no efluente tinha na sua composição sangue bovino, rúmen entre outros dejetos dos abates. Segundo Levatti (2022), o pH do sangue bovino pode variar de 7,31 até 7,50, valores diferentes podem indicar que esteja ocorrendo algo com bovino. Já o conteúdo do rúmen é levemente ácido, valores próximos de 6,7, pois dentro do estômago bovino existem bactérias sensíveis a alterações de pH como a bactérias celulolíticas, visto que esta bactéria vive em meios levemente ácidos (pH acima de 6,1) (EMBRAPA, 2001).

No efluente de saída do biodigestor foram coletadas amostradas; somente uma amostra no início, no meio e no final dos abates do dia, visto que o pH durante a análise inicial não teve uma faixa de pH elevada quanto ao de entrada, onde o maior valor registrado de pH na saída o biodigestor foi de 7,18 em novembro e o menor foi de 6,97 em agosto.

Esses resultados obtidos durante o estudo podem indicar como está o funcionamento do biodigestor, visto que o pH é um dos parâmetros de análise que pode mostrar como está o meio reacional do biodigestor.

Estudos apontam que pHs baixos podem mostrar que há um acúmulo de ácidos voláteis no meio reacional, e esse acúmulo é prejudicial as arqueas metanogênicas, onde o pH do meio reacional deve se manter acima de 6,6 para uma ótima produção de biogás e manter o sistema estável sem acidificar o meio reacional (KUNZ; AMARAL; STEINMETZ, 2019).

Os dados indicam que a faixa de pH observada durante o período de monitoramento, de 6,97 a 7,18, está se mantendo acima de 6,6, que é o ideal para o biodigestor, assim mostrando um possível bom funcionamento do biodigestor e que o meio reacional não está sendo acidificado.

### 6.7 Avaliação da Alcalinidade intermediária / Alcalinidade parcial

Foram realizados neste trabalho os testes de alcalinidade intermediária (AI) e alcalinidade parcial (AP), como é mostrado na Tabela 12 que também mostra a fração de AI/AP.

**Tabela 12 – Valores calculados de AI, AP e AI/AP**

Alcalinidade/Mês	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro
AI	1875,5	1751,0	1211,5	1834,0	1668,0
AP	20962,5	20162,5	19925,0	23362,5	23775,0
AI/AP	0,0895	0,0868	0,0608	0,0785	0,0702

**Fonte: Autoria Própria (2023)**

Como é visto na Tabela 12, foi possível obter os valores de AI/AP do biodigestor. Esses dados obtidos podem ajudar a identificar como o biodigestor está funcionando, se está em sobrecarga, subcarga ou em ótimo funcionamento. O AI é um indicativo da relação dos ácidos de cadeia curta presentes no meio reacional e o AP é a alcalinidade do meio.

Os valores obtidos durante o estudo indicam que o biodigestor está em subcarga, como mostra a Figura 20. Uma vez que, os valores abaixo estão abaixo de 0,3, o que representa que o sistema está em subcarga (KUNZ; AMARAL; STEINMETZ, 2019).

A Tabela 12 mostra que em nenhum mês de estudo o valor chegou próximo de 0,3 e com isso é possível que o efluente de entrada do biodigestor não tenha substrato suficiente para os microrganismos ou mesmo o próprio biodigestor ter dimensões superiores ao que seria adequado para a empresa, o que impacta a geração de biogás de forma negativa.

Figura 20 – Parâmetro de AI/AP

<b>Relação AI/AP</b>	<b>Característica do reator</b>
< 0,3	Reator em subcarga

Fonte: Adaptado de KUNZ *et.al.* (2019)

## 6.8 Caracterização do biogás

Na

Tabela 133 encontram-se os resultados da caracterização do biogás produzido quanto a composição de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), oxigênio (O<sub>2</sub>), amônia (NH<sub>3</sub>) e enxofre (H<sub>2</sub>S) ao longo do período de estudo. O CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e O<sub>2</sub> estão em porcentagem enquanto o NH<sub>3</sub> e o H<sub>2</sub>S estão em ppm (parte por milhão).

Tabela 13 – Caracterização do biogás

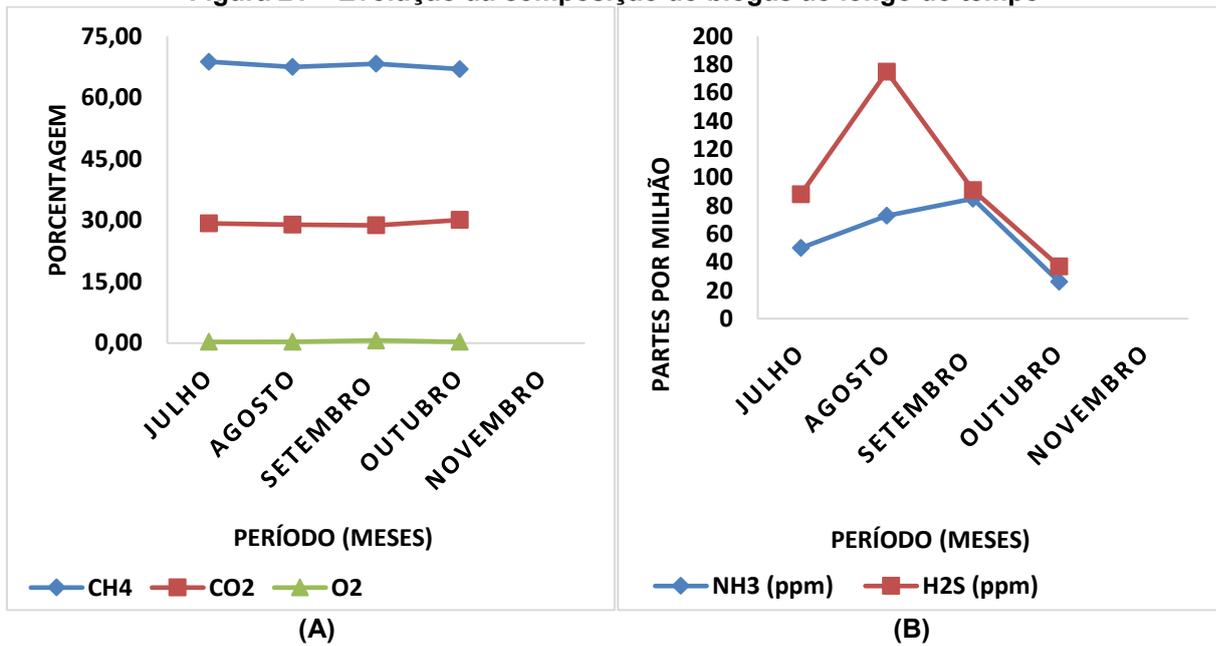
Composto / Mês	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro
CH <sub>4</sub> (%)	68,80	67,50	68,30	67,00	68,18
CO <sub>2</sub> (%)	29,30	29,00	28,80	30,10	29,18
O <sub>2</sub> (%)	0,30	0,32	0,67	0,30	0,41
NH <sub>3</sub> (ppm)	50	73	85	26	55,8
H <sub>2</sub> S (ppm)	88	175	91	37	96,6

Fonte: Autoria Própria (2023)

Os dados apresentados na

Tabela 13 estão dispostos em gráficos como é visto na Figura 21 para melhor visualização da evolução ao longo do tempo. O gráfico A expressa resultados em porcentagem e B partes por milhão (ppm).

Figura 21 – Evolução da composição do biogás ao longo do tempo



Fonte: Autoria Própria (2023)

Pela Figura 21, nota-se que o biogás é composto por grande parte pelo gás CH<sub>4</sub> tendo uma média de 67,96% da composição total do biogás, seguido pelo CO<sub>2</sub> com a média de 29,28% depois o O<sub>2</sub> com 0,40%. Na parte (B) é mostrada a variação do NH<sub>3</sub> e do H<sub>2</sub>S em partes por milhão (ppm), onde as suas médias durante o estudo foi de 57,96 ppm e 97,52 ppm, respectivamente.

O biogás gerado pelo biodigestor está tendo a média próxima do valor que a EMBRAPA (2021) sugere para um biogás de boa qualidade, citando que um biogás rentável tem que ter 70% ou mais de metano em sua composição. Esta porcentagem elevada do metano favorece a queima do biogás para geração de energia elétrica, assim é possível que o biogás gerado tenha uma boa qualidade para queima no gerador.

Em relação ao H<sub>2</sub>S ele é um gás solúvel em água, incolor e tem um cheiro característico de ovo podre. Em concentrações na faixa de 10 ppm a 500 ppm este gás pode ser prejudicial para o ser humano em longos períodos de exposição podendo provocar incomodo nos olhos e nariz ou até mesmo óbito, nesta faixa também pode ser prejudicial para os equipamentos, pois em contato com a água ele se transforma em ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) e assim corroer as estruturas dos equipamentos (CAVALER, 2022).

Apesar do H<sub>2</sub>S ter um alto poder calorífico, ele é proibido de ser usado como fonte de combustível pelos órgãos regulamentadores, pois sua queima gera o óxido

de enxofre, um dos causadores de chuvas ácidas (OLIVEIRA, 2019).

Logo é visto que os resultados obtidos de H<sub>2</sub>S durante o estudo sobre o biogás estão dentro da faixa de risco para os seres humanos e para o equipamento, podendo assim, em longo prazo prejudicar o motor de combustão que a empresa utiliza para queimar o biogás e possivelmente prejudicial os funcionários que ficarem em longos períodos expostos ao biogás.

## **7 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Neste tópico serão apresentadas sugestões para melhorias na produção de biogás e o diagnóstico obtido após finalizar as análises.

### **7.1 Sugestões de melhoria para o processo.**

Ao analisar os resultados obtidos do trabalho e possível propor alguns procedimentos que a empresa pode adotar para melhorar a produção de biogás para geração de energia elétrica, sendo elas:

- Conscientizar os funcionários a diminuir o consumo de água durante os abates bovinos, assim diminuindo a diluição do efluente.
- Ter um monitoramento constante do funcionamento, operação e parâmetros físico-químicos do efluente de entrada e saída do biodigestor;
- Fazer um estudo mais detalhado o efluente de saída do biodigestor, em foco na utilização de biofertilizante, assim será possível identificar e melhorar os parâmetros e futuramente esse biofertilizante poderá ser vendido, trazendo uma renda a mais para a empresa.
- Sem um tratamento prévio do efluente antes da entrada no biodigestor é possível que possa diminuir a vida útil do biodigestor, principalmente com a remoção de sólidos inorgânicos.
- Uma forma possível de aumentar a relação do AI/AP do biodigestor é aumentando a COV de entrada, utilizando outras fontes além da que o frigorífico gera atualmente, como exemplo: dejetos suínos e soro de leite. Esses efluentes são ricos matéria orgânica e em nutrientes, assim potencializando a produção de biogás.

### **7.2 Diagnóstico**

Neste trabalho foi possível realizar um monitoramento e o diagnóstico de operação e controle do biodigestor da empresa Frigorífico Santa Barbara Ltda e assim poder indicar para a empresa algumas sugestões futuras de melhorias.

Os resultados das análises laboratoriais sugerem que o biodigestor não tem sido alimentado em sua capacidade máxima, mas em subcarga, recebendo carga de alimentação inferior ao que ele pode receber, assim produzindo menos biogás que sua capacidade.

Com os dados analíticos obtidos foi possível observar que o biodigestor mesmo recebendo uma carga abaixo do indicado, o mesmo está com boa eficiência de remoção de COV do efluente.

Também foi possível neste trabalho acompanhar os parâmetros físico-químicos do efluente como ST, SV, SF, óleo e graxas, NTK e  $\text{NH}_3$  e pH. Com esses dados é possível afirmar que o biodigestor tem boa eficiência na remoção de ST e SV e eliminando quase a totalidade dos SF pelo efluente de saída do biodigestor, pode-se indicar que a agitação interna do biodigestor está funcionando de uma forma eficaz.

Em relação ao nitrogênio amoniacal, os resultados obtidos em laboratório e pelos cálculos mostram que as concentrações estão crescendo, mas este acréscimo não chega perto dos valores que possam ser prejudiciais ao meio reacional.

Com relação aos dados de AI/AP do biodigestor, foi observado que o biodigestor estudado está em subcarga, com valores abaixo de 0,3 na relação AI/AP, o que é indicado para esse tipo de biodigestor. Logo esses resultados podem indicar que o biodigestor não está recebendo carga suficiente para se manter em operação ótima ou ideal, assim produzindo menos biogás do que o esperado.

## REFERÊNCIAS

AGOSTINHO, J. D. L. Análise da qualidade de desinfetantes e águas sanitárias comercializados em Maranguape – CE. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Universidade Federal do Ceará. Bracharelado em Química,. p.1–51, 2021.

AIRES, A. M. Pré-processamento da cama de frangos de corte destinada a biodigestão anaeróbia e e compostagem in-vessel Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal, p. 160, 2012. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/handle/11449/101328>>. .

Ambiente ruminal e o suplemento EMBRAPA. Disponível em: <<https://old.cnpgc.embrapa.br/publicacoes/doc/doc108/02ambiente.html#:~:text=O%20ret%C3%ADculo%2Dr%C3%BAmen%20representa%20cerca>>. Acesso em: 11 jun. 2023.

AMARAL, A. C. ; KUNZ, A.; TÁPPARO, D. C.; GASPARETO, T. C.; RICARDO LUIS RADIS STEINMETZ. Volumétrica Na Recuperação De Metano Em Um Reator Cstr Tratando Dejeito. **XLV Congresso brasileiro de engenharia agrícola**, August, p. 9, 2016.

AMARAL, A. C; STEINMETZ, R. L. R.; KUNZ, A. **Parâmetros de Importância ao Processo de Digestão Anaeróbica**. In: Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato. Concórdia: Sbera: Embrapa Suínos e Aves, p. 13 - 26, 2019a.

AMARAL, A. C; STEINMETZ, R. L. R.; KUNZ, A. **Os Biodigestores**. In: Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato. Concórdia: Sbera: Embrapa Suínos e Aves, p. 13 - 26, 2019b.

ANTONIO TEIXEIRA DE MATOS. **Manual de Análise de Resíduos Sólidos e Águas Residuárias**. 1º ed. Viçosa, MG, 2015.

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Segurança do Paciente em Serviços de Saúde: limpeza e desinfecção de superfícies. Brasília, 2010.

Barros, T. D. Agroenergia. EMBRAPA, 2021. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/en/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/agroenergia/residuos/biogas/biodigestores/tubular>> Acessa em 08 de junho de 2023.

Biogás - Portal Embrapa. .Disponível em: <<https://www.embrapa.br/en/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/agroenergia/residuos/biogas>>. Acesso em: 2/4/2023.

BORTOLI, M.; PRÁ, M. C.; KUNZ, A., **Tratamento do Digestato Remoção de Nitrogênio**. In: Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e

tratamento do digestato. Concórdia: Sbera: Embrapa Suínos e Aves, p. 13 - 26, 2019.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 430/2011, de 13 de maio de 2011. **Conselho Nacional do Meio Ambiente**, p. 8, 2011.

CAVALER, JA. P. et. al. Metodologias para remoção de H<sub>2</sub>S do biogás: uma revisão bibliográfica sobre os avanços tecnológicos em tratamentos físicos, químicos e biológicos. **Revista Interdisciplinar Científica Aplicada**, 16(1), p. 98–114, 2022.

Cantrel, K. B., Ducey, T., Ro, K. S., Hunt, P. G. **Livestock waste-to-bioenergy generation opportunities**. Bioresource Technology, v. 99, p. 7941-7953, 2008

CUCCO, D. DE C.; ABDALLA, B. B.; RIGON, F.; et al. Mapeamento e panorama dos frigoríficos de bovinos do estado de Santa Catarina. **Agropecuária Catarinense**, v. 34, n. 3, p. 30–32, 2021.

DIAS, F. R. T.; MEDEIROS, S. R. DE; MALAFAIA, G. C. Consumo mundial de carne bovina com crescimento menor nos próximos anos. **Boletim CiCarne - Embrapa**, v. 2, n. 43, p. 4, 2021.

EPE. BEN 2021 Relatório Síntese. , p. 1–73, 2021. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2021>>. .

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). MATRIZ ENERGÉTICA. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>>.

FOGLER, H. S. Cálculo de reatores : o essencial da engenharia das reações químicas. Rio de Janeiro: LTC, 2014. ISBN 978-85-216-2638-1. Disponível em:<https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsmb&AN=edsmb.000005566&lang=pt-br&site=eds-live&scope=site>. Acesso em: 22 mar. 2023.

Ifope. Abate de bovinos: etapas, legislação e definições. Disponível em: <<https://blog.ifope.com.br/abate-de-bovinos/>>.

KARLSSON, T.; KONRAD, O.; LUMI, M.; et al. **Manual básico de biogás**. 1ª edição. 2014.

KUMAR, H. **Advanced Techniques of Analytical Chemistry: Volume 1**. [s.l.] Bentham Science Publishers, 2022.

KUNZ, A.; STEINMETZ, R. L. R.; AMARAL, A. C. **O processo de biodigestão**. In: Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato. Concórdia: Sbera: Embrapa Suínos e Aves, p. 13 - 26, 2019a.

LEVATTI, A. **Alterações bioquímicas e gasométricas no sangue e fluido alantoideano de receptoras de embriões bovinos clonados a partir do dia 150 da gestação**. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Zootecnia e Engenharia de

Alimentos, Pirassununga, SP, 2022.

MALAFAIA, G. C.; DIAS, F. R. T.; MEDEIROS, S. R. DE. A pecuária de corte mundial em números. **Embrapa-Boletim CiCarne**, v. 2, p. 1–5, 2021. Disponível em: <<https://www.cicarne.com.br/wp-content/uploads/2021/07/Boletim-CiCarne-48-2021.pdf>>. .

MENDONÇA, H. V.; OTENIO, M. H.; DE PAULA, V. R. Anaerobic digestion for the production of renewable energy. **Revista em Agronegocio e Meio Ambiente**, v. 14, n. 3, 2021.

Nicoloso, R. S.; Barros, E. C.; Wuaden, C. R.; Pigosso, A. **Uso do Biodigestato Como Fertilizante**. In: Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato. Concórdia: Sbera: Embrapa Suínos e Aves, p. 13 - 26, 2019.

PPM 2020: Rebanho Bovino Cresce 1,5% E Chega A 218,2 Milhões De Cabeças | Agência De Notícias. Disponível Em: <<https://Agenciadenoticias.Ibge.Gov.Br/Agencia-Sala-De-Imprensa/2013-Agencia-De-Noticias/Releases/31722-Ppm-2020-Rebanho-Bovino-Cresce-1-5-E-Chega-A-218-2-Milhoes-De-Cabecas>>.

SILVA, N. T. M. Remoção de carbono e nitrogênio de efluente de matadouro em reator anaeróbio-aeróbio de leito fixo. Dissertação (Mestrado) - Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Pernambuco , 2018.

EMBRAPA Suplementação de bovinos em pastejo. Disponível em: <<https://old.cnpgc.embrapa.br/publicacoes/doc/doc108/index.html>>. Acesso em: 4 jul. 2023.

OLIVEIRA, J. L. B. EFEITO DOS ULTRAMICROPOROS E DA QUÍMICA DA SUPERFÍCIE NOS MECANISMOS DE RETENÇÃO DE H<sub>2</sub>S DO BIOGÁS. **Progress in Retinal and Eye Research**. v. 1, p.66, 2019.

SOUZA, L. P; PECCI, L. Projeto de Implantação de um Biodigestor Modelo Fluxo tubular para a produção de biogás a partir de resíduos sólidos orgânicos do restaurante universitário da utfpr – Campus Ponta Grossa. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Química– Campus Ponta Grossa., 2021.

SOXHLET, F. Die gewichtsanalytische Bestimmung des Milchfettes. **Dinglers Polytechnisches Journal**, v.232, p. 461-465, 1879.

TÁPPARO, D. C.; VIANCELLI, A.; CESTONARO, A.; et al. Sanitary effectiveness and biogas yield by anaerobic co-digestion of swine carcasses and manure. **Environ Technol.**, p. 682-690, v. 3330, 2018.

USDA. Report Name : Livestock and Products Annual. , 2022. Disponível em: <<https://apps.fas.usda.gov/psdonline/reporthandler.ashx?reportId=2693&templateId=7&format=html&fileName=Beef%20and%20Veal%20Production%20-%20Top%20Countries%20Summary>>. .

VIEIRA, P. A.; BUAINAIN, A. M.; CONTINI, E.; GRUNDLING, R. D. P. Geopolítica das carnes Mudanças na produção e no consumo. **Revista de Política Agrícola**, n. 2, p. 83–105, 2021.

VON SPERLING, M.; GONÇALVES, R. F. Lodo de esgotos: características e produção. In: Lodo de esgotos: tratamento e disposição final. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, Belo Horizonte; Companhia de Saneamento do Paraná, 2001. pp. 17-67.

## APÊNDICE A – Tabelas do pH obtidos durante o período de estudo

**Tabela 14 – pH de entrada e saída do biodigestor no mês de julho.**

Hora	pH (Entrada)	pH (Saída)
05:30	8,55	6,99
06:00	8,76	--
06:30	7,9	--
07:00	7,68	--
07:30	7,89	--
08:00	7,92	--
08:30	7,95	--
09:00	7,53	--
09:30	7,73	--
10:00	7,80	--
10:30	8,32	--
11:00	8,39	--
11:30	8,42	--
12:00	8,37	7,01

**Fonte: Autoria Própria (2023)**

**Tabela 15 - pH de entrada e saída do biodigestor no mês de agosto**

Hora	pH (Entrada)	pH (Saída)
05:30	8,77	7,00
06:00	8,81	--
06:30	7,85	--
07:00	7,75	--
07:30	7,86	--
08:00	7,90	--
08:30	7,91	--
09:00	7,55	--
09:30	7,71	--
10:00	7,78	--
10:30	8,37	--
11:00	7,41	6,97

**Fonte: Autoria Própria (2023)**

**Tabela 16 – pH de entrada e saída do biodigestor no mês de setembro**

Hora	pH (Entrada)	pH (Saída)
06:30	8,87	7,05
07:00	8,78	--
07:30	8,54	--
08:00	7,90	--
08:30	7,94	--
09:00	7,60	--
09:30	7,51	--
10:00	7,52	7,05
10:30	7,54	--
11:00	7,71	--
11:30	8,01	--
12:00	7,73	7,05

**Fonte: Autoria Própria (2023)**

**Tabela 17 – pH de entrada e saída do biodigestor no mês de outubro**

Hora	pH (Entrada)	pH (Saída)
06:30	6,15	7,09
07:00	8,79	--
07:30	8,43	--
08:00	8,09	--
08:30	7,85	--
09:00	7,32	--
09:30	7,42	7,06
10:00	7,57	--
10:30	7,67	--
11:00	7,17	--
11:30	7,22	--
12:00	7,69	7,05

**Fonte: Autoria Própria (2023)**

**Tabela 18 – pH de entrada e saída do biodigestor no mês de novembro**

Hora	pH (Entrada)	pH (Saída)
06:00	7,88	7,18
06:30	8,43	--
07:00	8,26	--
07:30	7,91	--
08:00	7,71	--
08:30	7,77	--
09:00	7,42	7,12
09:30	7,17	--
10:00	7,49	--
10:30	7,14	--

**Fonte: Autoria Própria (2023)**