



**UEPB**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA  
CAMPUS I**

**CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**

**JOAO FREIRES DA SILVA FILHO**

**PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DO BAGAÇO DE MALTE PROVENIENTE  
DA INDÚSTRIA CERVEJEIRA: ABORDAGEM TEÓRICA**

**CAMPINA GRANDE – PB  
2022**

**JOÃO FREIRES DA SILVA FILHO**

**PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DO BAGAÇO DE MALTE PROVENIENTE  
DA INDÚSTRIA CERVEJEIRA: ABORDAGEM TEÓRICA**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado à Coordenação do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba - UEPB como requisito parcial para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental.

**Orientadora:** Profa. Dra. Marcia Ramos Luiz

**CAMPINA GRANDE – PB  
2022**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

S586p Silva Filho, João Freires da.  
Produção de biogás a partir do bagaço de malte proveniente da indústria cervejeira [manuscrito] : abordagem teórica / João Freires da Silva Filho. - 2022.  
32 p. : il. colorido.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2022.

"Orientação : Profa. Dra. Márcia Ramos Luiz, Coordenação do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental - CCT."

1. Biogás. 2. Resíduos sólidos. 3. Bagaço de malte. 4. Energia renovável. I. Título

21. ed. CDD 662.88

JOÃO FREIRES DA SILVA FILHO

**PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DO BAGAÇO DE MALTE PROVENIENTE  
DA INDÚSTRIA CERVEJEIRA: ABORDAGEM TEÓRICA**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado à Coordenação do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba - UEPB como requisito parcial para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Orientadora: Profa. Dra. Marcia Ramos Luiz

Aprovada em: 18/07/2022.

**BANCA EXAMINADORA**

*Márcia Ramos Luiz*

---

Profa. Dra. Márcia Ramos Luiz (Orientadora)  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

*Lígia*

---

Profa. Dra. Lígia Maria Ribeiro Lima  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

*Whelton Brito dos Santos*

---

Prof. Dr. Whelton Brito dos Santos  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

Dedico aqueles que são os pilares da minha vida e sem os quais a mesma não teria sentido: meus pais, João Freires (in memoriam) e Severina Ferreira. Pelos incentivos, exemplos e amor incondicional, pela dedicação, companheirismo e amizade.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente dirijo minha gratidão a Deus, por me dar forças para não desistir e assim conquistar mais uma etapa em minha vida.

A vocês, queridos pais, o meu agradecimento. Por todo apoio que me deram, cujo exemplo me fizeram ser quem sou hoje, que abdicaram de muitos sonhos para que os meus pudessem ser realizados.

Pela sua dedicação e por suportar comigo tempos difíceis, tenho por você minha mais sincera gratidão. Aos meus amigos: André Carlison, Emanuela Figueiredo, pessoas com quem construí mais do que verdadeiros laços de amizade e sim uma família. Vocês são jóias raras que eu agradeço por terem cruzado meu caminho e por nele permanecerem.

Aos professores: Whelton Brito e Ligia Ribeiro não somente por terem me ensinado, mas sim por terem me feito aprender e ainda por se tornarem amigos com quem pude passar os melhores momentos e ombros que me sustentaram e me ajudaram a suportar momentos difíceis que surgiram sem me deixar desanimar, pois sempre tinha um amparo quando mais precisei.

A minha orientadora Prof. Dr. Marcia Ramos Luiz, por toda dedicação, paciência, ensinamento e compreensão das minhas dificuldades, sempre atuante e motivante me permitindo por muitas vezes realinhar meus pensamentos quando onde eu via alguma dificuldade ela me fazia ver oportunidade.

Aos colegas do curso: Julia Câmara, Milena D'arc, Jessiely, ao qual levarei cada um no coração. Por partilharem aflições e momentos de descontração e acima de tudo serem grandes parceiros. Mais do que colegas vocês se tornaram grandes amigos.

A todos vocês dedico meu trabalho, sem ajuda, confiança, conselhos, companheirismo e compreensão de todos, esta etapa não seria concluída. Muito obrigado nunca será suficiente para demonstrar a grandeza do que recebi de vocês. Peço a Deus que os recompense a altura. “Amizade é o amor que nunca morre.”

## RESUMO

A alta produção da cerveja vem resultando no aumento do volume de resíduos dentro das indústrias e seu descarte impróprio resulta diretamente na geração de impactos ambientais. Um dos resíduos orgânicos gerados por essas indústrias é o bagaço do malte que tratado de forma biológica por anaerobiose, vem se tornando uma alternativa promissora, atrativa e econômica para a geração de compostos energéticos limpos como o caso do biogás. Num primeiro momento tivemos um estudo que analisa a produção de biogás a partir do bagaço do malte com inóculos específicos de cada caso e atestou – se em quais condições de foram mais eficazes para geração do biogás em consonância com os fatores que poderiam interferir na produção, em seguida os outros dois casos analisados seguiram a mesma abordagem modificando o inóculo e fazendo testes em triplicatas para medir a eficiência na geração do biogás e assim em todos os caso o bagaço do malte proveniente da indústria cervejeira se apresentou viável para a produção e conversão em energia renovável, com percentual variando de 52 a 61 % o que o deixa bem posicionado dentro da faixa estipulada pela literatura que é de 50 a 75 % . Este trabalho objetivou efetuar um levantamento bibliográfico visando comparar, por meio de artigos científicos, biodigestores anaeróbios para a produção de biogás, a partir do bagaço do malte proveniente indústria cervejeira.

**Palavras-Chave:** Biogás; Bagaço; Malte; Resíduos Sólidos.

## **ABSTRACT**

The high production of beer has resulted in an increase in the volume of waste within the industries and its improper disposal directly results in the generation of environmental impacts. One of the organic waste generated by these industries is malt bagasse, which is biologically treated by anaerobic digestion, has become a promising, attractive and economic alternative for the generation of clean energy compounds such as biogas. At first, we had a study that analyzes the production of biogas from malt bagasse with specific inoculum for each case and attested - if under what conditions they were more effective for the generation of biogas in line with the factors that could interfere in the production, then the other two cases analyzed followed the same approach, modifying the inoculum and doing tests in triplicates to measure the efficiency in the generation of biogas and so in all cases the malt bagasse from the brewing industry proved to be viable for production and conversion into renewable energy, with a percentage ranging from 52 to 61%, which makes it well positioned within the range stipulated in the literature, which is 50 to 75%. This work aimed to carry out a bibliographic survey in order to compare, through scientific articles, anaerobic digesters for the production of biogas, from malt bagasse from the brewing industry.

**Keywords:** Biogas; Bagasse; Malt; Solid waste.

## LISTA DE FIGURAS E TABELAS

Figura 1 – Matéria prima para fabricação de cerveja .....	13
Figura 2 - Imagem micrográfica da espécie <i>Saccharomyces cereviase</i> .....	13
Figura 3 – Fluxograma básico do processo de fabricação de cerveja .....	14
Figura 4 – Representação de Biodigestor Modelo Indiano .....	17
Figura 5 – Representação de Biodigestor Chinês .....	18
Figura 6 – Representação de Biodigestor Modelo Canadense .....	18
Figura 7 – Modelo Biodigestor de Batelada .....	19
Figura 8 – Esquema geral do processo de digestão anaeróbia .....	21
Tabela 1 – Classificação dos microrganismos quanto a temperatura .....	23
Tabela 2 – Composição do biogás gerado a partir de resíduos orgânicos .....	24

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>9</b>
<b>1.1</b>	<b>Objetivos.....</b>	<b>10</b>
<b>1.1.1</b>	<b><i>Objetivo geral.....</i></b>	<b>10</b>
<b>1.1.2</b>	<b><i>Objetivos específicos .....</i></b>	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>11</b>
<b>2.1</b>	<b>Matéria prima para fabricação de cerveja.....</b>	<b>11</b>
<b>2.2</b>	<b>Processo de fabricação de cerveja .....</b>	<b>13</b>
<b>2.3</b>	<b>Resíduos sólidos gerados no processo .....</b>	<b>16</b>
<b>2.4</b>	<b>Biodigestores.....</b>	<b>17</b>
<b>2.5</b>	<b>Tratamento de resíduos orgânicos por digestão anaeróbia .....</b>	<b>20</b>
<b>2.6</b>	<b>Fatores interferentes no processo de digestão anaeróbia.....</b>	<b>22</b>
<b>2.7</b>	<b>Características do biogás.....</b>	<b>24</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>25</b>
<b>4</b>	<b>ESTUDO DE CASO .....</b>	<b>26</b>
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>28</b>
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>29</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Sendo a bebida alcoólica mais consumida do mundo devido às suas características sensoriais, valor nutricional e sua versatilidade, a cerveja ganhou uma enorme aceitação popular. Para atender essa demanda, novas indústrias cervejeiras foram criadas e sua grande maioria estão localizadas nas regiões sul e sudeste do país, sendo Porto Alegre a cidade com o maior número de estabelecimentos registrados (ENDLER, 2021).

Com o crescimento dessas indústrias, as microcervejarias também ganharam espaço no Brasil. Esse tipo de comércio relativamente pequeno quando comparado a líderes, possibilitou um excelente negócio para comerciantes locais. À medida que as grandes empresas crescem a uma taxa de 7 % ao ano, o segmento das microcervejarias cresce, em média, a 14 % ao ano (ENDLER, 2021).

A alta produção de cervejas resulta no aumento do volume de resíduos e efluentes que por sua vez considera tal setor como gerador potente de poluição de acordo com os órgãos ambientais (HASSAN et al., 2018).

Segundo Veroneze et al. (2019), em virtude da alta qualidade de matéria orgânica, encontrada nos efluentes produzidos pela indústria cervejeira, o tratamento biológico é amplamente recomendado, pois a maioria dos resíduos são orgânicos e o tratamento pela via anaeróbia tornou-se o mais atrativo do ponto de vista econômico devido ao crescimento de processos com altas cargas orgânicas, possibilitando a produção de compostos energéticos como o biogás.

O biogás por sua vez apresenta-se como resultado da digestão anaeróbia que tem a capacidade de degradar a matéria orgânica sem a presença de oxigênio, com aplicabilidade na transformação dos resíduos sólidos provenientes do processo fabril passando a ser uma alternativa energética renovável podendo ser utilizado como fonte de energia no processo industrial (POLASTRI et al., 2019).

A alta produção de cerveja resulta em um enorme volume de resíduo dentro das indústrias, sendo necessário ter uma destinação adequada e de forma correta, para evitar impactos ao meio ambiente. O bagaço de malte é o resíduo com maior volume gerado no processo e considerada uma ótima alternativa por contribuir com o aumento da energia renovável.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei nº 12.305/2010, traz em suas definições conceitos de gerenciamento de resíduos que por sua vez tem todo um conjunto de métodos e técnicas a ser empregada com intuito de minimizar os impactos

ambientais. Dentre as técnicas de reuso do bagaço do malte destaco aqui a produção de biogás a partir de biodigestão anaeróbia, tendo em vista a recuperação energética dos resíduos, que é considerada assim como uma fonte de energia mais limpa e orientada para a redução da grande quantidade de resíduos sólidos proveniente do processo industrial cervejeiro. Além disso, a geração de energia a partir de resíduos sólidos se insere no processo de transição para um novo paradigma atrelado ao consumo e à produção sustentável. (PNRS, 2010)

## **1.1 Objetivos**

### ***1.1.1 Objetivo geral***

Comparar, por meio de artigos científicos, biodigestores anaeróbios para produção de biogás a partir do bagaço de malte proveniente da indústria cervejeira.

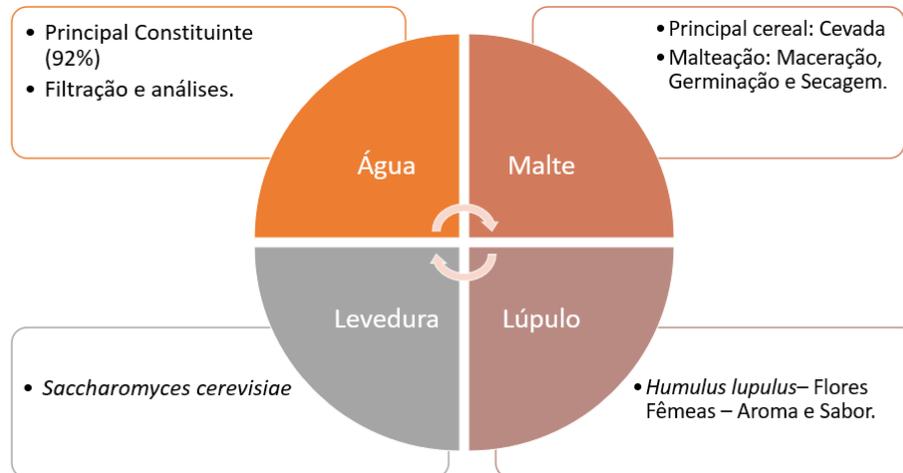
### ***1.1.2 Objetivos específicos***

- Pesquisar na literatura e em outros meios digitais quais os biodigestores utilizados na produção de biogás;
- Comparar os biodigestores estudados;
- Avaliar as condições operacionais que interferem nos processos de digestão anaeróbica pelos biodigestores estudados.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Matéria prima para fabricação de cerveja

Figura 1 – Matéria prima para fabricação de cerveja



Fonte: Pessoal (2022)

Segundo a lei antiga de pureza *Reinheitsgebot*, publicada em 1516, a cerveja é produzida a partir de quatro constituintes: água, malte, lúpulo e levedura (VERONEZE, 2019).

A água é o principal constituinte na fabricação de cerveja, correspondendo a mais de 92 % do total do produto. Para que seja produzida uma cerveja de boa qualidade, a água deve ser filtrada e livre de impurezas (TOZETTO, 2017).

Para isso, a água passa por uma série de análises, dentre elas: análise de pH, dureza, turbidez, dentre outras, não importando seu meio de obtenção. Devido a sua alta capacidade de maltagem, a cevada é o cereal mais utilizado pela indústria cervejeira. Além disso, o cereal contém alto teor de amido, baixo teor de lipídios, enzimas que auxiliam na produção do mosto; proteínas que auxiliam na produção de espuma; além de ser mais barata quando comparada a outros cereais como trigo, arroz e milho (FERREIRA, 2014).

Para que a cevada seja transformada em malte é necessário que o grão seja processado e passe por um processo chamado de malteação, para que seu sistema enzimático possa transformar o amido em açúcares fermentáveis, os quais são necessários na fabricação de cerveja. Esse processo é dividido em três etapas: maceração, germinação e secagem (MUZZOLON et al., 2021).

A etapa de maceração, ou umidificação, é a etapa inicial do processo de malteação. Nessa etapa, tira-se o grão do estado de dormência, elevando o teor de umidade entre 35 a

45 %. Sem elevar a umidade do grão ele nunca irá germinar (LEMOS, 2017). Além disso, fornece ao grão oxigênio, visando suprir suas necessidades e estimulando o desenvolvimento do embrião, para posteriormente germinação. Os grãos devem permanecer por um determinado período imersos em água (fase úmida) e em outros períodos secos (fase seca). Segundo estudos literários, realizar essas duas fases garante uma maior absorção de água pelo grão do que realizar apenas a fase úmida (MUZZOLON et al., 2021).

A germinação é o processo de transformação de cevada em planta. Para que isso aconteça, além do aumento do teor de umidade, a cevada necessita de temperatura adequada. Durante o processo, a temperatura deve permanecer entre 16° e 20 °C. Sob temperaturas elevadas o processo ocorre mais rapidamente e sob temperaturas mais baixas ocorre maior produção de enzimas. Com base nisso, as indústrias cervejeiras começam o processo de germinação com temperaturas baixas e no decorrer do processo vão aumentando gradativamente a temperatura, assim garantindo que a produção enzimática seja suficiente para fabricação da cerveja (FERREIRA, 2014).

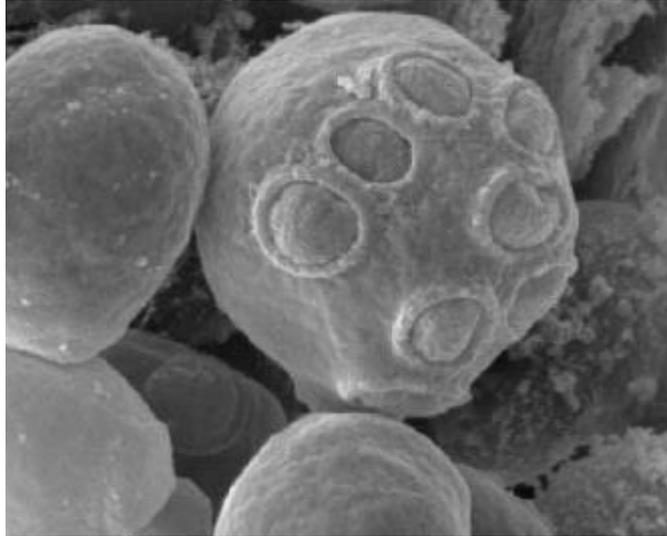
A última etapa do processo, a secagem é utilizada para conservar a atividade enzimática, evitar contaminações microbiológicas, eliminar o sabor “verde” e incorporar sabores característicos do grão de cevada. Para que isso ocorra, os grãos são dispostos em rampas de aquecimento (50° a 85 °C) ou câmaras de secagem que inflam ar quente entre os grãos. Essa temperatura é aumentada gradativamente podendo ultrapassar 100 °C. Ao final dessa etapa, a temperatura é reduzida para 35 °C e durante 35 a 45 min, o malte é resfriado a fim de garantir que não ocorra perda enzimática e que a cor do malte e o sabor da cerveja estejam garantidos (MUZZOLON et al., 2021).

O lúpulo considerado o terceiro constituinte da formulação da cerveja são cones de *Humulus lupulus*, uma planta trepadeira perene de origem de clima temperado. No processo da fabricação da cerveja são usadas as flores fêmeas. Esse constituinte confere à cerveja o aroma e sabor amargo. Cada cerveja pode usar mais de uma variedade de lúpulo até obter o sabor desejado (TOZETTO, 2017).

A levedura *Saccharomyces cerevisiae* é o principal ingrediente usado no processo de fermentação microbiana de açúcares utilizado em processos industriais de fermentação alcoólica. *Saccharomyces cerevisiae* são microrganismos anaeróbios facultativos, ou seja, produzem energia a partir de compostos de carbono tanto em condições aeróbicas quanto anaeróbicas. Para que a fermentação seja bem sucedida, é muito importante misturar uma certa quantidade de levedura capaz de consumir os açúcares fermentáveis com o mosto, com intuito que ocorra a metabolização dos açúcares fermentáveis para produzir álcool, dióxido de carbono,

energia e calor na forma de ATP, seguindo as especificações técnicas e condições definidas. (PAYÁ et al., 2019). Na Figura 1 tem-se representado uma imagem micrográfica da espécie *Saccharomyces cerevisiae*.

Figura 2 – Imagem micrográfica da espécie *Saccharomyces cerevisiae*



Fonte: MARTINEZ (2017).

## 2.2 Processo de fabricação de cerveja

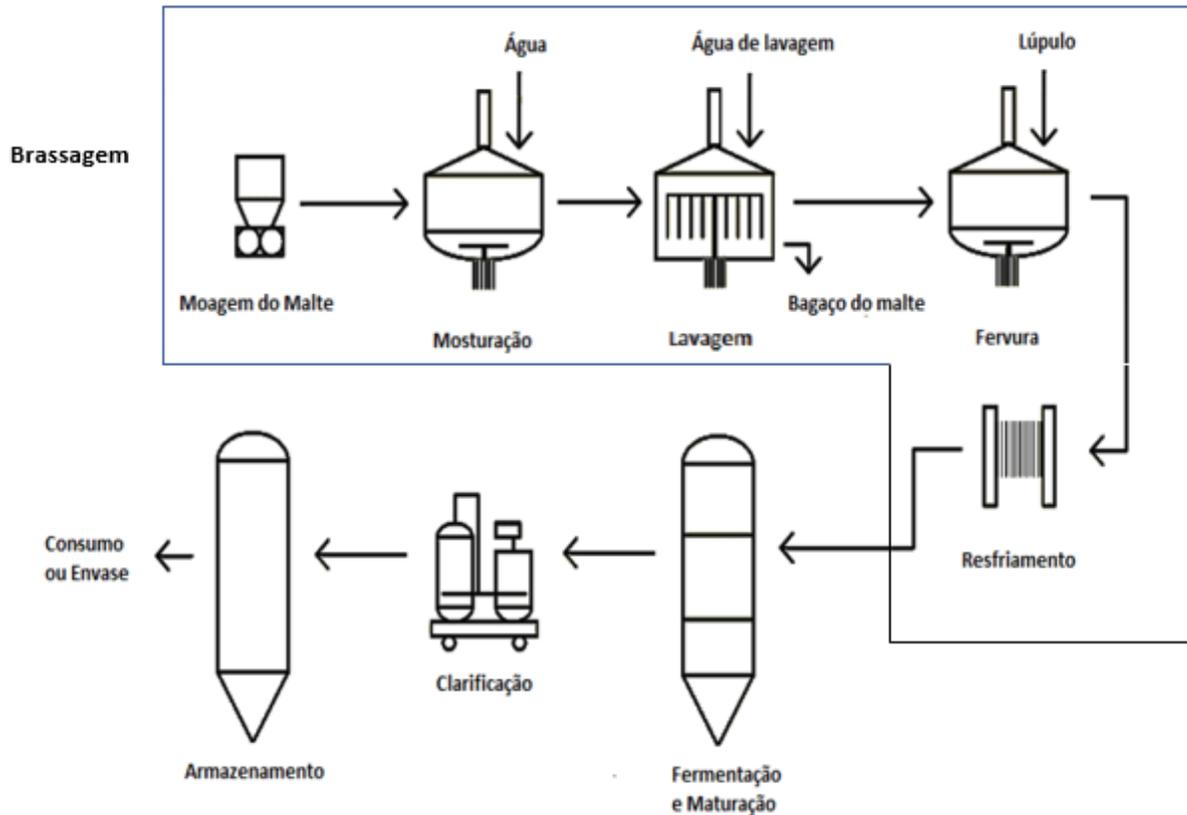
O processamento industrial da cerveja pode ser dividido em operações básicas: moagem do malte, mosturação, lavagem, fervura, resfriamento, fermentação, maturação, clarificação e armazenamento, além de outros processos auxiliares. Nessa série de etapas estão envolvidas diversas reações químicas e bioquímicas que precisam ser cuidadosamente monitoradas (MORADO, 2009). Na Figura 2 estão representadas essas operações.

A moagem do malte é a primeira das etapas, aqui o malte é colocado em um moinho para expor o amido do endosperma, dividindo a casca da semente do malte e aumentando a área de superfície para que as enzimas possam funcionar na próxima etapa. Como a casca do malte é utilizada no processo de filtração, ela é triturada em rolos cilíndricos, configurando uma etapa totalmente física (MATOS et al., 2011).

A sacarificação, também conhecida como mostura, é uma etapa do processo em que o malte é umedecido em água quente para hidratá-lo e ativar as enzimas que convertem o amido contido no grão em açúcares. Este é um dos processos mais complexos na fabricação de cerveja devido às reações físicas e bioquímicas que ocorrem. Durante esta etapa, o controle de tempo e

temperatura são essenciais para auxiliar todas as reações bioquímicas, permitindo assim que as enzimas coexistentes no grão da cevada maltada iniciem a hidrólise do amido convertendo-o em maltose e removendo as substâncias dispensáveis para a cerveja (PAYÁ et al., 2019).

Figura 3 – Fluxograma básico do processo de fabricação de cerveja



Fonte: TOZETTO et al. (2017).

Na etapa de lavagem e clarificação conhecida como filtração do mosto, ocorre a separação da fase sólida e da fase líquida, permitindo o isolamento do bagaço de malte já removido as substâncias que alteram sabores, odores e viscosidade (TOZETTO, 2017).

Para o processo de fervura se faz necessário cerca de 1 h e 10 min, sendo 30 min destinados ao aquecimento do líquido, que por sua vez terá a adição do lúpulo, tanto no início da fervura afim de verificar o amargor, quanto no final para verificar o sabor e aroma característicos da cerveja. Ao final da fervura será feita a decantação de proteína desnaturada, permitindo assim o início do processo de resfriamento (ENDLER, 2021).

Para a etapa de resfriamento e com intuito de evitar a oxidação e a contaminação por microrganismos, utilizaremos o *chiller*, equipamento que realiza os movimentos dos fluidos com o objetivo de reduzir a temperatura (PAYÁ et al., 2019).

Uma vez passado essa fase passa-se para o processo de fermentação que tem como objetivo a qualidade da cerveja preservando as propriedades químicas e físico-químicas. Tais etapas iniciam-se com a inoculação da levedura (*Saccharomyces cerevisiae*) no mosto já resfriado e aerado, permitindo que os microrganismos vão se reproduzindo e ingerindo os açúcares fermentativos e conseqüentemente gerem o álcool, dióxido de carbono e álcoois superiores que são os responsáveis pelas características organolépticas para a cerveja. A maturação é a etapa em que ocorre a precipitação de partículas existentes em suspensão que visa estimular outras reações de esterificação necessárias na produção de sabores a bebida, essa fase costuma ter uma duração entre 4 a 42 dias a depender do método utilizado (MATOS et al., 2011).

Essa etapa inicia-se com a retirada do fermento permitindo que a temperatura no tanque reduza), fazendo com que a cerveja obtida (cerveja verde) seja transferida para tanques ou garrafas de maturação, permanecendo em temperaturas próximas a 0 °C por tempos variáveis para incorporação de aromas, sabores e aspectos visuais a bebida (TOZETTO, 2017).

Após a maturação, a cerveja entra na fase de filtração, com intuito de remoção dos fragmentos menores em suspensão, sem que haja alteração na composição e no sabor da cerveja.

Após esta etapa, a bebida aumentará o equilíbrio microbiano e físico-químico devido à quantidade de suspensão de levedura removida (MATOS et al., 2011).

Durante o armazenamento, a maturação da bebida continua e a cerveja passa a ser “cozida demais”, se fazendo necessário que a filtragem aconteça em consonância com a etapa conhecida como *priming*. Essa etapa nada mais é que adicionar uma mistura de açúcar e água afim de fornecer aos microrganismos presentes na cerveja mais substratos, permitindo um aumento na absorção, como na produção de gás carbônico. Durante a fermentação ocorrem perdas para o meio ambiente necessitando dessa complementação para se manter em condições ideais e favoráveis antes de iniciar o processo de consumo e envase (ENDLER, 2021).

Ao envasar bebidas, é necessário prestar atenção especial à exposição da cerveja ao oxigênio para evitar oxidação futura (MATOS et al., 2011). Segundo Hughes (2014) destaca que a etapa final da produção da cerveja é aquela que requer cuidados, incluindo a limpeza e higienização das garrafas que recebem a bebida. Entre os métodos e produtos que podem ser utilizados, os mais comuns são a esterilização por calor, o uso de ácidos ou outros desinfetantes. O processo de enchimento pode ser feito à máquina ou manualmente, mas o primeiro é mais seguro.

### 2.3 Resíduos sólidos gerados no processo

No processo de fabricação da cerveja são produzidos resíduos que possuem sólidos, açúcares e leveduras, dentre outros, que são gerados nas operações como filtração, descarga dos equipamentos, na lavagem de *contêineres* e na limpeza de tanques (ARANTES, 2017). Na perspectiva de destinação correta para os resíduos sólidos orgânicos gerados na produção de cerveja, é possível realizar o aproveitamento desses resíduos através da digestão anaeróbia e aproveitar até na geração de energia sem poluentes (POLASTRI et al., 2019).

O bagaço de malte resultante do processo de lavagem na produção de cerveja é considerado o maior volume de resíduo sólido, chegando a representar uma fração sólida que de aproximadamente, 85 % dos resíduos produzidos durante todo o processo (SANTOS, 2005).

Devido ao bagaço de malte possuir elevado teor de celulose, lignina e polissacarídeos não celulósicos, é comum ele apresentar uma certa resistência na degradação anaeróbia. Porém, esses materiais são citados como uma boa alternativa para a digestão anaeróbia, pelo fato de se usar uma técnica específica para o tratamento dos resíduos sólidos, assim como na produção de metano como fonte de energia limpa e, conseqüentemente, na diminuição da emissão de gases do efeito estufa (HASAN et al., 2018).

Segundo esses mesmos autores, a utilização dos resíduos sólidos ricos em matéria orgânica são potenciais geradores de biogás e a forma mais eficiente de propiciar sua recuperação, acontece quando estes são introduzidos novamente no processo da produção, possibilitando a transformação de energia que podem ser convertidos na formação de energia elétrica ou térmica.

Quando se fala em resíduos sólidos orgânicos, existem muitas técnicas e estudos que tem como objetivo possibilitar a reutilização e minimizar os riscos ambientais provocados ao dispor, irregularmente, tais resíduos. Como método biológico, tanto em condições aeróbias ou anaeróbias, uma das técnicas empregadas é a transformação em compostos orgânicos que podem ser utilizados na agricultura ou ainda na produção de biogás, resultando assim na formação do metano, oxigênio e gás carbônico, isso quando se refere digestão anaeróbia permitindo ser utilizada na recuperação energética ou aplicação como gás natural (MAGALHÃES et al., 2016).

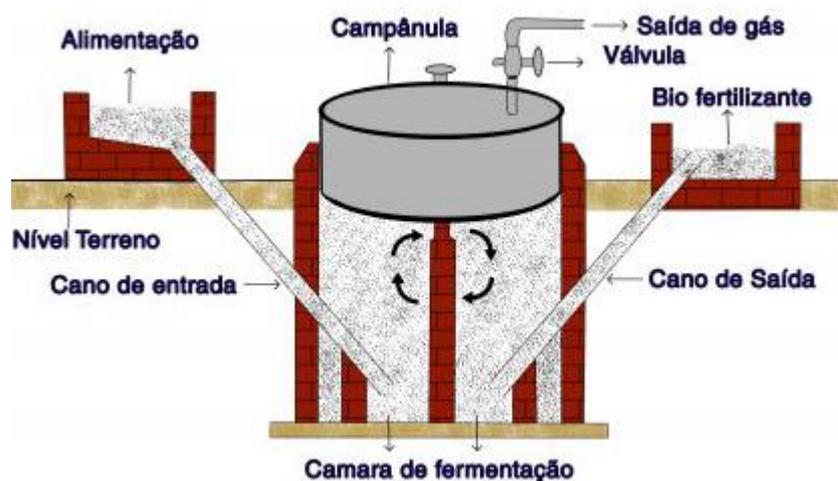
O descarte impróprio, bem como a geração contínua dos resíduos sólidos orgânicos pelas indústrias cervejeiras são ações que colaboram para uma situação ambiental crítica, agravando cada vez mais a problemática do descarte de lixo no país.

Na busca de uma destinação adequada para o resíduo de malte oriundo do processo de lavagem e em consonância com método biológico de digestão anaeróbia, uma das técnicas a se aplicar para reaproveitamento seria a produção de biogás através do uso de biodigestores, muito popular nos países asiáticos, a exemplo da China e Índia e, especialmente, em países do Terceiro Mundo (GASPAR, 2003).

## 2.4 Biodigestores

Os principais biodigestores comumente usados pelo mundo são: o modelo indiano, chinês, canadense e batelada. Os três primeiros são modelos de biodigestores contínuos, ou seja, são alimentados diariamente e/ou sucessivamente. O último modelo, batelada, é um tipo de biodigestor que trabalha de forma descontínua, ou seja, sua alimentação ocorre a cada final de ciclo de operação (ARAUJO, 2017). Pode-se verificar representações desses modelos de biodigestores nas Figuras 3, 4, 5 e 6, respectivamente.

Figura 4 – Representação de Biodigestor Modelo Indiano

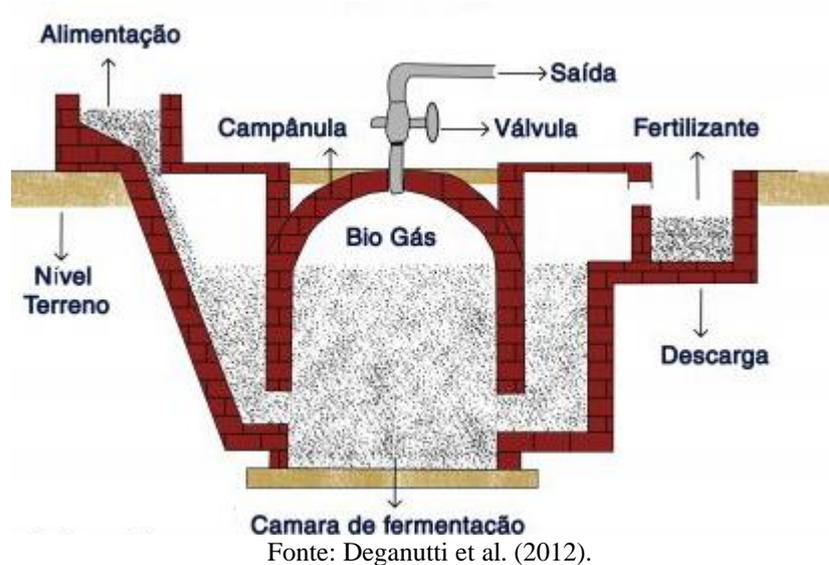


Fonte: Coelho (2012)

O biodigestor indiano (Figura 4) é basicamente constituído de tanque de entrada e saída, câmara de fermentação e campânula. Os resíduos são colocados no tanque de entrada e por gravidade são conduzidos pelo tubo de carga até o interior do biodigestor ou câmara de fermentação. Feita de alvenaria, a câmara de fermentação é o local onde ocorre todo o processo de fermentação. A campânula é uma espécie de tampa que funciona como gasômetro, a qual pode estar mergulhada sobre a biomassa em fermentação ou pode estar em um selo d'água

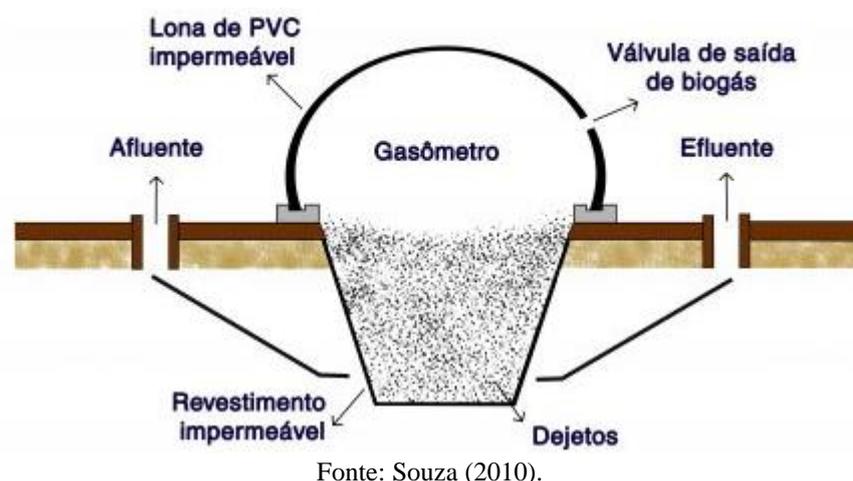
externo. O biodigestor indiano é caracterizado por possuir pressão de operação constante, ou seja, o volume de gás produzido não é consumido de imediato e faz com que o gasômetro se desloque verticalmente mantendo a pressão no interior (DEGANUTT et al., 2002).

Figura 5 – Representação de Biodigestor Chinês



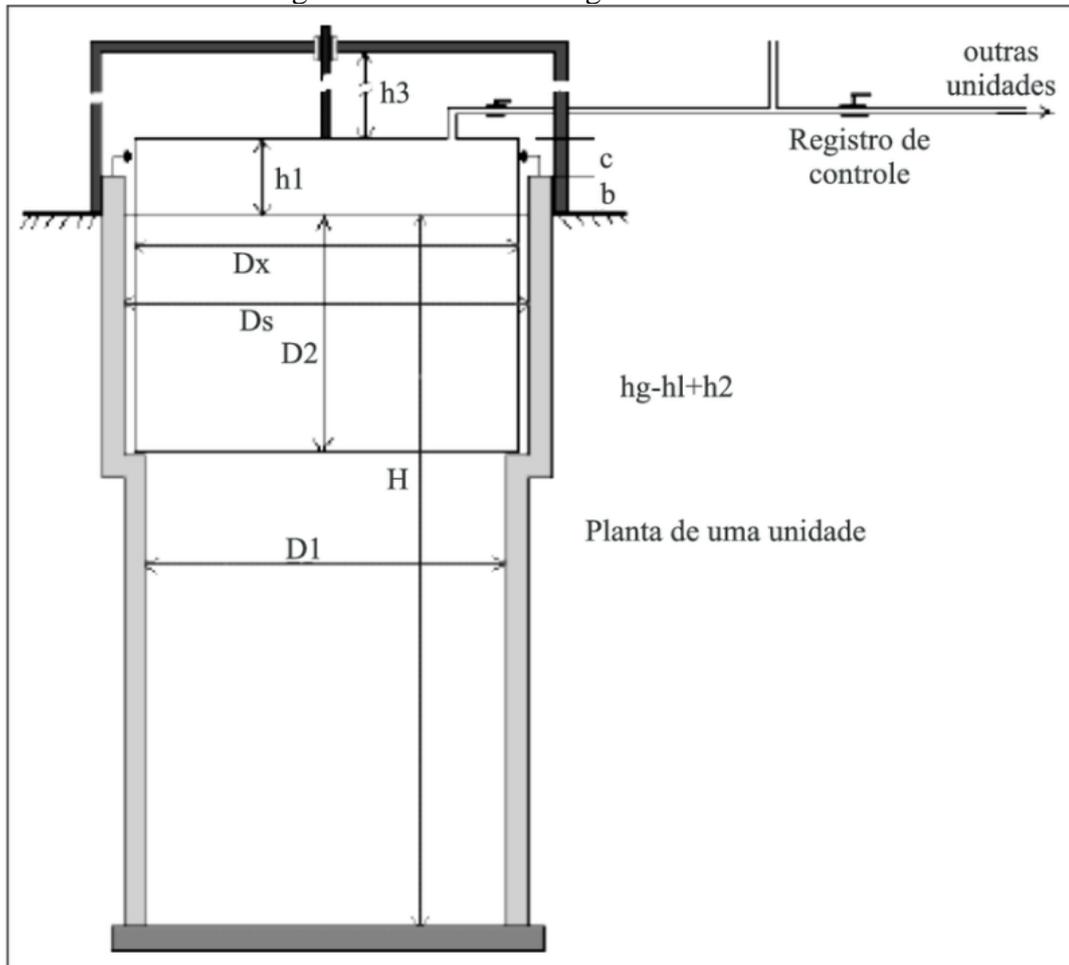
O biodigestor de acordo com o Modelo Chinês (Figura 5) é construído quase toda em alvenaria, sendo formado por uma câmara de fermentação de formato cilíndrico, teto abobadado e impermeável que armazena o biogás gerado no processo. Seu funcionamento baseia-se no princípio da pressão hidrostática, ou seja, o aumento da pressão gerado pelo biogás resulta no deslocamento do efluente da câmara de fermentação para a saída (DEGANUTTI, 2002).

Figura 6 – Representação de Biodigestor Modelo Canadense



O biodigestor de acordo com o Modelo Canadense (Figura 6) desenvolvido pela Marinha Brasileira em 1970, embora seja considerado moderno, possui uma composição simples que envolve uma câmara de digestão escavada no solo e um gasômetro inflável feito de material plástico ou similar. À medida que o gás é produzido, a cúpula plástica é inflada e o biogás é acumulado (ARAUJO, 2017).

Figura 7 – Modelo Biodigestor de Batelada



Fonte: Deganutti et al. (2002)

O biodigestor de acordo com o Modelo Batelada (Figura 7) é um modelo simples e de pequena exigência operacional, podendo ser um único tanque anaeróbico ou vários em série. Nesse tipo de modelo, o abastecimento da matéria orgânica é feito de uma única vez, mantendo-se em fermentação por um determinado período de tempo e após o final desse período o material é descartado (FRIGO et al., 2015).

Alves et al. (2014), relatam que as diferenças entre o modelo indiano e o chinês são pequenas, entretanto destaca-se a cúpula desses biodigestores. No modelo indiano, a cúpula é feita de metal ou aço e possui mobilidade, ou seja, à medida que o gás produzido não é

imediatamente consumido, a cúpula tende a deslocar-se verticalmente, aumentando seu volume e mantendo a pressão de operação constante. Já no modelo chinês, a cúpula, geralmente, é feita de alvenaria e é fixa, o que faz com que a pressão interna sofra variações de acordo com o volume de gás produzido.

Araujo (2017) relata que além dos biodigestores indiano e chinês necessitarem de um abastecimento contínuo, os substratos utilizados nesses biodigestores devem conter uma concentração de sólidos totais de até 8% para evitar entupimentos no sistema de entrada e facilitar a circulação do material.

Segundo Frigo et al. (2015), o modelo indiano oferece algumas vantagens em relação ao modelo chinês, pois o mesmo pode ser adaptado ao clima e ao tipo de solo local não tendo a necessidade de impor medidas fixas para diâmetro e profundidade, apenas a necessidade que se observe a relação de capacidade do tanque digestor e da campânula.

De forma geral os biodigestores são equipamentos herméticos e impermeáveis utilizados para depositar material orgânico para que ocorra o processo bioquímico chamado de biodigestão anaeróbica, ou seja, sem a presença de oxigênio atmosférico e por um determinado período de retenção, os materiais depositados no biodigestor sofrem fermentação e dão origem a produtos gasosos, principalmente, metano e dióxido de carbono.

Os constituintes básicos de um biodigestor é um reservatório que armazena a biomassa e uma câmara (gasômetro) que por sua vez armazena o biogás produzido permitindo ser canalizado e utilizado em processos de aquecimento, resfriamento ou na geração de energia elétrica (ARAÚJO, 2017).

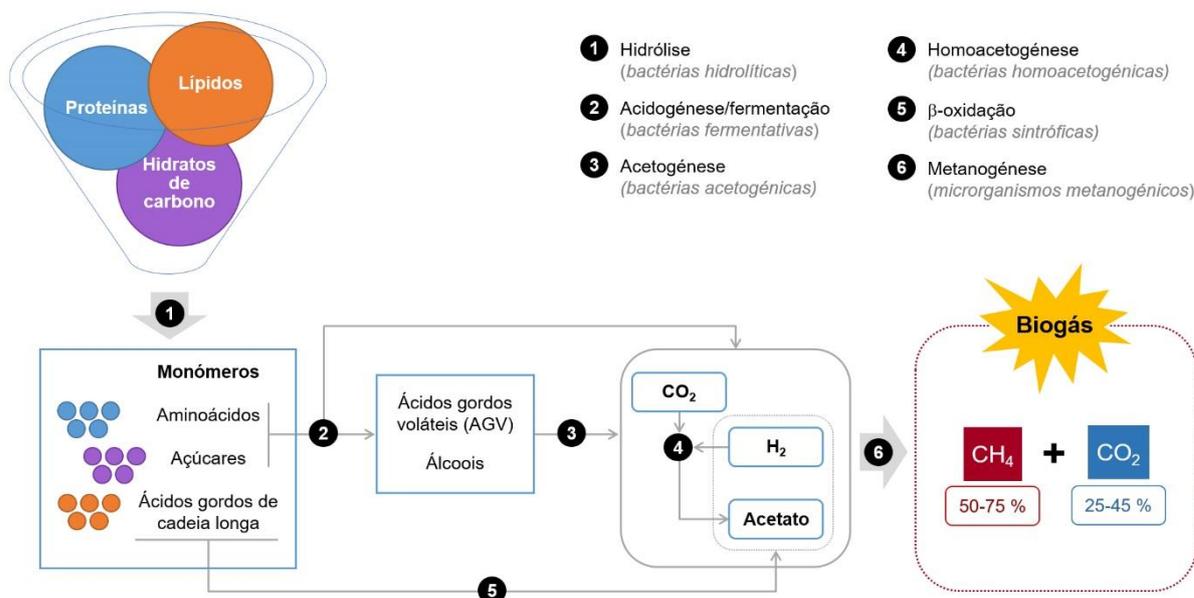
Os biodigestores são classificados de acordo com sua forma de abastecimento, ou seja, em batelada (não contínuo) ou contínuo. Os biodigestores de modelo batelada são aqueles que operam de forma descontínua, ou seja, os biodigestores de batelada são alimentados de uma só vez, com uma grande quantidade de matéria orgânica e, depois que passa pelo processo de digestão de todo o lote, a matéria orgânica é substituída. No modelo contínuo, os biodigestores são construídos para que sejam abastecidos diariamente (FRIGO et al., 2015).

## **2.5 Tratamento de resíduos orgânicos por digestão anaeróbia**

Em condições anaeróbias, o processo de digestão necessita de um conjunto de microrganismos para promover a transformação da matéria orgânica em metano e dióxido de carbono. Essa digestão é caracterizada por quatro etapas de degradação, sendo estas: hidrólise,

acidogênese, acetogênese e metanogênese, como pode ser visualizado no esquema geral do processo na figura 7 (ENDLER, 2021).

Figura 8 – Esquema geral do processo de digestão anaeróbia



Fonte: CAVALEIRO (2020).

Na hidrólise, as enzimas quebram as ligações que formam substâncias complexas como carboidratos, proteínas e lipídios em substâncias orgânicas simples (monômeros), como aminoácidos e ácidos graxos. Esse processo é de fundamental importância para a produção de biogás, pois dada a quebra dos polímeros maiores, inicia-se o processo de biodigestão (ARAÚJO, 2017).

A taxa em que ocorre a degradação na etapa de hidrólise depende da natureza do substrato, ou seja, se a matéria orgânica é difícil de degradar por ser complexa, pode ser considerada como a etapa limitante na digestão anaeróbica, pois a taxa global de degradação é crítica. Carboidratos levam horas para se degradar, enquanto proteínas e lipídios levam mais dias (KUNZ et al., 2019).

Na fase de Acidogênese, as substâncias que foram produzidas na hidrólise são utilizadas como substrato por microrganismos acidogênicos, sendo essas degradadas em ácidos orgânicos de cadeia curta, como por exemplo: ácido butanoico, álcoois, hidrogênio e gás carbônico (ARAÚJO, 2017).

Os açúcares presentes na etapa de acidificação, como a glicose, são convertidos em piruvato e depois em ácido lático por um grupo de microrganismos *Lactobacillus* e etanol sob a ação de leveduras. Por outro lado, os ácidos graxos são degradados por ação microbiana pela

Acetobacter via  $\beta$ -oxidação, enquanto os aminoácidos são degradados aos pares pelo *Botulinum* via reação Stickland (KUNZ et al., 2019).

Na acetogênese, os materiais resultantes da fase da acidogênese são modificados, por ação de microrganismos acidogênicos, em ácido acético, hidrogênio e gás carbônico (ENDLER, 2021). Kunz et al. (2019), relataram que esse grupo de microrganismos é chamado de acetogênico porque realiza reações acetogênicas, que foram determinadas como endotérmicas. Um exemplo de reação acetogênica é a desnaturação do ácido propiônico em acetato e dióxido de carbono.

No processo metanogênico, o ácido acético, hidrogênio e gás carbônico que foram produzidos na fase anterior são convertidos em metano e gás carbônico, graças a ação das enzimas *Arqueas* metanogênicas (ARAUJO, 2017).

Devido à compatibilidade entre os substratos e a quantidade de metanógenos, estes são divididos em dois grupos: quebradores de ácido acético, responsáveis por 70 % da formação de metano a partir do ácido acético e auxiliam no controle de pH; e as bactérias hidrogenotróficas se responsabilizam pelo restante do metano produzido (VERONEZE et al., 2019).

## **2.6 Fatores interferentes no processo de digestão anaeróbia**

O processo de digestão anaeróbia necessita de vários parâmetros que necessitam de controle e monitoramento, dentre eles: temperatura, pH, umidade, tempo de detenção hidráulica, assim como a presença de nutrientes. Isso porque o meio necessita disponibilizar condições favoráveis para o desenvolvimento dos microrganismos e para que estes possam realizar a conversão da matéria orgânica (POLASTRI et al., 2019).

No processo de digestão anaeróbia são utilizados biodigestores que podem ser caracterizados pelo método de alimentação (batelada ou contínuo), forma de alimentação (ascendente ou laminar), acúmulo dos sólidos dentro do reator (> 20 % digestão sólida, 10 a 15 % semissólida e < 10 % úmida) e técnica de agitação (sem mistura, mistura parcial ou completa) (KUNZ et al., 2019).

A digestão anaeróbia é uma etapa de fermentação que sofre influência direta da temperatura, nesse caso minimizando o tempo de retenção da massa na parte interna do biodigestor, fazendo com que quanto mais o processo de fermentação aconteça em temperaturas altas, maior seja a porcentagem de metano na composição do biogás, garantindo assim um poder calorífico mais elevado para a mistura (ARAUJO et al., 2017).

A temperatura também atua diretamente na velocidade de crescimento e no metabolismo dos microrganismos, auxiliando na atividade da população dentro do biodigestor. Em conformidade com a temperatura, os microrganismos se classificam em três grupos diferentes (Tabela 1) (KUNZ et al., 2019).

Tabela 1 – Classificação dos microrganismos quanto a temperatura

Grupos	Temperatura ideal de Crescimento (°C)
Termofílicos	60
Mesofílicos	37
Psicrofílicos	15

Fonte: Adaptado de Kunz et al. (2019).

Segundo Endler (2021), durante as fases de hidrólise e acidogênese, o pH ideal deve estar entre 5,2 a 6,3. Já nas fases de acetogênese e metanogênese o pH ideal deve estar entre 6,5 a 8,0.

Durante a digestão anaeróbia uma grande parte dos problemas que ocorrem está relacionada diretamente com a abundância dos ácidos orgânicos voláteis que fazem com que ocorra diminuição de pH, tal situação ocorre devido estes ácidos serem de espécies intermediárias. Já o tempo de detenção hidráulica corresponde ao tempo que a matéria necessita ficar no biodigestor, podendo variar de 4 a 60 dias, conforme os substratos utilizados para alimentar o biodigestor e dos demais fatores (ENDLER, 2021).

Esse tempo de detenção hidráulica é determinado pela relação entre o volume de mistura líquida do biodigestor e a carga diária, é importante ressaltar que existem resíduos que tem facilidade de degradação (como o açúcar) cujo Tempo de Detenção Hidráulica (TDH) é baixo, enquanto que os resíduos complexos exigem mais tempo para metabolizar sofrendo assim uma degradação lenta. Enquanto a matéria orgânica sofre a degradação ocorre a produção de biogás. (VERONEZE et al., 2019).

Quando se fala em nutrientes, o nitrogênio, fósforo e enxofre estão presentes nas células de microrganismos anaeróbios e seus teores estão próximos a 12, 2 e 1 % de toda a matéria seca. Além disso, uma proporção de 700:5:1 correspondente, respectivamente, às necessidades biológicas de oxigênio, nitrogênio e fósforo que são essenciais para a digestão anaeróbica (ENDLER, 2021).

## 2.7 Características do biogás

A digestão anaeróbica produz resíduos de digestão e biogás como subprodutos. Devido às suas propriedades típicas à base de metano, o biogás pode ser utilizado como fonte de calor ou eletricidade quando utilizado em coprodução, pois representa uma fonte de energia renovável (CAVALEIRO, 2020). A Tabela 2 ilustra a composição característica do biogás.

Tabela 2 – Composição do biogás gerado a partir de resíduos orgânicos

Componentes	Concentrações (%)
Metano (CH <sub>4</sub> )	55-70
Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> )	35-40
Água (H <sub>2</sub> O)	2-7
Sulfeto de Hidrogenio ( H <sub>2</sub> S)	2
Nitrogênio (N <sub>2</sub> )	< 2
Oxigênio (O <sub>2</sub> )	< 2
Hidrogênio (H <sub>2</sub> )	< 1
Amônia (NH <sub>3</sub> )	< 0,05

Fonte: Adaptado de Cecchi et al. (2003)

A produção de biogás e sua composição variam, principalmente, de acordo com a qualidade do resíduo no digestor, pelo seu grau de diluição e tempo de retenção (LUCAS JR, 2010). A adição de substrato adicional, que facilita a codigestão é outro fator que ajuda a melhorar o rendimento (HIDALGO, 2014).

### 3 METODOLOGIA

Para o levantamento dos artigos na literatura foram realizadas buscas nas seguintes bases de dados: Google Acadêmico, Literatura Latino-Americana e do Caribe em Ciências da Saúde (LILACS), Scientific Electronic Library Online (SciELO), PubMed, MEDLINE e Periódicos CAPES, usando como palavras-chave “biogás”, “bagaço”, “malte” e “resíduos sólidos”.

Foram inclusos no estudo os artigos que apresentassem em seu escopo a temática proposta, publicadas em português e inglês, datados dos anos 2012 a 2022. Como critérios de exclusão foram descartados os trabalhos que não apresentaram a versão na íntegra.

#### 4 ESTUDO DE CASO

Nessa etapa do trabalho serão apresentados resultados sobre produção de biogás por meio do bagaço de malte com a finalidade de mostrar a viabilidade deste na produção de biogás. Para isso analisou-se os achados da última década e os resultados encontrados pelos autores a seguir.

Endler (2021) avaliou a produção do biogás a partir do bagaço do malte da indústria cervejeira, por meio de digestão anaeróbica em batelada. Então, preparou-se triplicatas com inóculo de lodo anaeróbio com a mesma composição do bagaço de malte, mas já digerido ao processo, contendo assim microrganismos específicos da digestão anaeróbia, com a capacidade de fermentar o novo material em um curto tempo de detenção. Essas amostras foram feitas considerando a seguinte situação: a quantidade de amostra, o inóculo e celulose microcristalina e somente inóculo.

Quanto a produção de biogás e metano do inóculo, o autor observou que durante a degradação da matéria, o inóculo não teve influência sobre o substrato, assim não ocorreu produção de biogás no experimento, ou seja, o inóculo por si só, não possui potencial para produção de biogás. Em relação a celulose microcristalina, o presente foi satisfatório, uma vez que obteve produção de biogás igual a 2.583,90mL e porcentagem máxima de metano em 62,73 %. Quanto a produção do biogás a partir do bagaço do malte, o resíduo apresentou produção igual a 1.731,39mL e porcentagem máxima de metano igual a 60,62 %.

Malakhova et al. (2015) avaliaram a produção de biogás com o uso de bagaço de malte como substrato e como co-substrato folhas e caules moídas de alcachofra de Jerusalém (*H. tuberosus* L.), bem como a aplicação do resíduo fermentado de bagaço do malte como aditivo de solo em cultura de alface (*Lepidium sativum* L.). A biotransformação de substrato mais eficaz ocorreu em condições termofílicas, com a mistura do co-substrato em 100 g L<sup>-1</sup> de bagaço do malte, resultando na produção de 61,0 % de metano, enquanto que, sem a adição do co-substrato, apenas 53,6 % de metano foi detectado. Logo, os resultados obtidos no estudo, demonstraram um potencial para utilização completa de bagaço do malte para produção de biogás.

Vitanza et al. (2016) avaliaram o potencial bioquímico de metano (PBM) do bagaço de malte por meio da biometanização. Segundo os autores, a produção de biogás foi de 429 mlCH<sub>4</sub>.gSV<sup>-1</sup> e a composição de metano (CH<sub>4</sub>) presente no biogás foi de 52,4 %.

Tschoeke et al. (2020) avaliaram a produção de biogás a partir de bagaço de malte por digestão anaeróbica. O lodo granular anaeróbio e o bagaço de malte foram então usados como

substratos. O experimento se deu inoculando o digestor com aproximadamente 50 mL de lodo granular e 5 g de substrato, ambos previamente caracterizados. O pH inicial de todos os tratamentos foi de 7,0, que estava dentro da faixa favorável à produção de biogás e as temperaturas utilizadas foram 20 °, 25 ° e 30 °C, correspondendo à temperatura de operação do equipamento. Nessas condições observou-se que o comportamento de produção foi semelhante, mas a produção de metano tornou-se maior à medida que a temperatura aumentava, tal fato é evidenciado quando se faz um paralelo com a faixa de temperatura ótima para a ação das bactérias. Temperaturas mais altas estimulam o crescimento de bactérias mesofílicas responsáveis pela formação do metano, resultando assim em processos de eficiência elevada com menor tempo de retenção.

Segundo Castillo (2006), avaliando as condições operacionais da digestão de bagaço de malte e levando em consideração as variáveis: Temperatura, pH e Quantidade de substrato, pôde-se verificar que o bagaço de malte possui bom potencial para geração de biogás a uma temperatura de estabilização de 30 °C, sendo compatível com uma boa biodegradabilidade e uma boa eficiência na conversão da matéria orgânica em biogás.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante da necessidade de tecnologias econômicas e ambientalmente sustentáveis para aquisição e melhoria da produção de energia, o uso de biodigestores para produção de biogás representa um potencial promissor de atuação neste contexto, principalmente devido ao alto poder calorífico do gás produzido.

O processo anaeróbio para a produção de biogás a partir de matéria orgânica requer condições específicas, pois é um sistema microbiano, mas que requer condições operacionais otimizadas para sua eficiência.

Devido à alta demanda de produção e a possibilidade de utilizá-la para produzir energia renovável, os substratos de bagaços de maltes avaliados apresentaram resultados positivos e com potencial bioquímico satisfatório de produção de biogás, em conformidade com a literatura.

Os resultados obtidos no trabalho permitem verificar que o bagaço de malte possui bom potencial para geração de biogás. A caracterização do inóculo (lodo anaeróbio) e do substrato (bagaço do malte) mostrou uma boa biodegradabilidade e uma boa eficiência na conversão da matéria orgânica em biogás e pode-se verificar a importância da temperatura como um parâmetro capaz de interferir no processo.

## REFERÊNCIAS

- ALVES, H. G. Avaliação da produção de biogás a partir da digestão anaeróbia de hidrolisado hemicelulósico gerado pelo pré-tratamento por auto hidrólise do bagaç (manuscrito) / Heitor Róger Alves e Dias o do malte 2018
- ALVES, M. O.; PAGANINI, N. C.; RIBERIO, R. M.; ANDREAZZI, M. A. Biodigestores-fonte renovável de energia. VII Mostra Interna de Trabalhos de Iniciação Científica 21 a 24 de outubro de 2014 ISBN 978-85-8084-724-6
- ARANTES, M K.; ALVES, H.J.; SEQUINEL, R.; DA SILVA, E. A. Treatment of brewery wastewater and its use for biological production of methane and hydrogen. INTERNATIONAL JOURNAL OF HYDROGEN ENERGY, v. 42, p. 26243-26256, 2017.
- ARAUJO, A. P. C. Produção de biogás a partir de resíduos orgânicos utilizando biodigestor anaeróbico. Trabalho de Conclusão de Curso, 2017. Universidade Federal de Uberlândia.
- BRASIL, Lei N° 12.305 de 02 de agosto de 2010 - **Política Nacional de Resíduos Sólidos** (PNRS).
- HUGHES, Greg. *Cerveja feita em casa*. São Paulo: Publifolha, 2014
- CASTILLO M., E. F.; CRISTANCHO, D. E.; VICTOR ARELLANO, A. Study of the operational conditions for anaerobic digestion of urban solid wastes. Waste Management, v. 26, n. 5, p. 546 556, jan. 2006.
- CAVALEIRO, Ana Júlia; ALVES, Madalena M. Digestão anaeróbia. **Revista de Ciência Elementar**, v. 8, n. 1, 2020. Disponível em: <<https://rce.casadasciencias.org/rceapp/art/2020/009/>>. Acesso em 06 abril 2022.
- COELHO, P. “Biodigestores contínuos e de batelada”. 2012. Disponível em : <<http://www.engquimicasantosp.com.br/2012/07/biodigestores.html>>. Acesso em: 20 de Marco. de 2022.
- DEGANUTTI, Roberto et al. Biodigestores rurais: modelo indiano, chinês e batelada. Proceedings of the 4th Encontro de Energia no Meio Rural, 2002
- ENDLER, I. A. Avaliação da produção de biogás a partir de resíduo sólido orgânico da indústria cervejeira. Trabalho de Conclusão de Curso, 2021. Universidade do Vale do Taquari.
- FERREIRA, A. S; BENKA, C. L. Produção de cerveja artesanal a partir de malte germinado pelo método convencional e tempo reduzido de germinação, 2014. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- FRIGO, K. D. A; FEIDEN, A; GALANT, N. B; SANTOS, R. F; MARI, A. G; FRIGO, E. P. Biodigestores: Seus modelos e aplicações. Acta Iguazu, Cascavel, v.4, n.1, p.57-65, 2015.
- GASPAR, R.M.B.L. **Utilização de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais com ênfase na agregação de valor: um estudo de caso na região de Toledo** - PR. 2003. 106

f. Dissertação (Mestrado em Planejamento e Estratégia Organizacional) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

HASAN, Camila. **EVALUATION OF THE BIOGAS PRODUCTION POTENTIAL FROM BEER MANUFACTURE RESIDUES**, 2018.

HASAN, Camila; FEITOSA, Anny Kariny; DE ALMEIDA, Maria Cristina. PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS: ANÁLISE DOS TEORES DE SÓLIDOS TOTAIS, VOLÁTEIS E FIXOS EM AMOSTRAS PRÉ E PÓS DIGESTÃO ANAERÓBIA1. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 8, n. 1, p. 257-273, 2019.

HIDALGO, D.; MARTÍN MARROQUÍN, J.M. Effects of inoculum source and co digestion strategies on anaerobic digestion of residues generated in the treatment of waste vegetable oils. **Journal of Environmental Management** , v. p. 17 22 , 2014 . DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.04.004>.

LUCAS JÚNIOR, J. Estudo comparativo de biodigestores modelos Indiano e Chinês. Botucatu, 1987, 114p. (Tese de Doutorado), Universidade Estadual Paulista.

KUNZ, A.; STEINMETZ, R. L. R; AMARAL, A. C. Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato. Embrapa Suínos e Aves-Livro científico (ALICE), 2019.

LEMOS, E. H. Automação de um processo de malteação, 2017. Trabalho de Conclusão de Curso. Centro Federal de Educação Tecnológico de Minas Gerais.

MAGALHÃES, Geísa Vieira Vasconcelos. III-128-AVALIAÇÃO DO USO DE DIFERENTES INÓCULOS NA BIODIGESTÃO DO RESÍDUO ORGÂNICO VISANDO A PRODUÇÃO DE BIOGÁS, 2016.

MALAKHOVA, D. V.; EGOROVA, M. A.; PROKUDINA, L. I.; NETRUSOV, A.I.; TSAVKELOVA, E. A. The biotransformation of brewer's spent grain into biogas by anaerobic microbial communities. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 31, p. 2015-2023, 2015.

MARTINEZ, M. Levedura. **Info Escola**, 2017. Disponível em: <<http://www.infoescola.com/reino-fungi/levedura/>> Acesso em 06 maio 2020. MARTINS, I. F.; FUZIOKA, P. U.; SILVA, A. M. Processo de Produção da Cerveja. II Simpósio da Assistência Farmacêutica, Centro Universitário São Camilo, 2014. Disponível em: Acessado em 20/02/2022.

MATOS, Ricardo Augusto Grasel et al. **Cerveja: panorama do mercado, produção artesanal, e avaliação de aceitação e preferência**. 2011.

MORADO, Ronaldo. Larousse da cerveja. São Paulo: Larousse do Brasil, 2009. p. 357.

MUZZOLON, E; MELATI, J; LUCCHETTA, L; BRAVO, C. E. C; TONIAL, I. B. Processamento da cevada para produção de malte: parâmetros de qualidade. Editora científica digital , 2021. DOI 10.37885/210203295.

PAYÁ, Ana Laura *et al.* PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE CERVEJA ARTESANAL ADICIONADA DE AVEIA (Avena sativa). **Revista Engenharia em Ação UniToledo**, v. 4, n. 2, 2019.

POLASTRI, P.; SIMOES, A. L. G.; SCANDELAI, A. P. J.; VARESCHINI, D. T.; GIMENES, M. L. Potencial da produção de biogás por meio da digestão anaeróbia do bagaço de malte, 2019.

SANTOS, M. S. dos. **Cervejas e refrigerantes - Série P+L**. São Paulo: CETESB, 2005. Disponível em: <[https://cetesb.sp.gov.br/consumosustentavel/wp-content/uploads/sites/20/2013/11/cervejas\\_refrigerantes.pdf](https://cetesb.sp.gov.br/consumosustentavel/wp-content/uploads/sites/20/2013/11/cervejas_refrigerantes.pdf)>. Acesso em 01 junho 2022.

SOUZA, K. C. G. Modelo de simulação para análise da viabilidade de geração de energia a partir da utilização de biodigestores. UFMS. s.l.: Programas de Pós-graduação da CAPES, 2010. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica.

TOZETTO, L. M. Produção e caracterização de cerveja artesanal adicionada de gengibre (*Zingiber officinale*), 2017. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Isabelle Cristine Prohmann Tschoeke I. C. P. Caracterização e Produção de Biogás Oriundo do Bagaço de Malte.

VERONEZE, M. L. Avaliação da produção de biogás a partir de água residuária de cervejeira, 2019. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

VITANZA, R.; CORTESI, A.; GALLO, V.; COLUSSI, I.; M. E. DE ARANA-SARABIA, M. E. de. Biovalorization of brewery waste by applying anaerobic digestion. **Chemical and Biochemical Engineering Quarterly**, n. 3; v. 30, p. 351–357, 2016.

