

Tânia Carla António Mondlana Matchebe

**Geração de Biogás a Partir da Biomassa Residual da Indústria Cervejeira:
Um Modelo de Economia Circular na Heineken Moçambique**

Licenciatura em Ensino de Química com Habilitações em Gestão de Laboratório

Universidade Pedagógica de Maputo

Maputo

2022

Tânia Carla António Mondlana Matchebe

**Geração de Biogás a Partir da Biomassa Residual da Indústria Cervejeira:
Um Modelo de Economia Circular na Heineken Moçambique**

Monografia científica a ser apresentada à
Coordenação do Curso de Licenciatura em
Ensino de Química da Faculdade de Ciências
Naturais e Matemática, para obtenção do grau
académico de Licenciatura em Ensino de
Química sob orientação do docente: Mestre
Alberto Arnaldo Boane, MSc.

Universidade Pedagógica de Maputo

Maputo

2022

Índice

LISTA DE FIGURAS	iii
Declaração de Honra	vi
Dedicatória.....	vii
Agradecimentos	viii
Resumo	ix
CAPÍTULO I.....	1
1.0. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Problematização.....	2
1.2. Justificativa da escolha do tema.....	3
1.3. Relevância.....	3
1.4. Objectivos	5
1.4.1. Geral	5
1.4.2. Específicos.....	5
1.5. Questões científicas	5
1.6. Hipóteses.....	5
1.7. Delimitação do tema	6
CAPÍTULO II.....	7
FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	7
2.1 Economia circular.....	7
2.1.1. Objectivos da Economia circular	7
2.1.2. Vantagens da Economia circular	9
2.2. Conceito de digestão anaeróbica.....	9
2.2.1. Fases da digestão anaeróbia.....	9
2.2.2. Condições operacionais de produção de biogás	12
2.2.3. Carga orgânica.....	12
2.2.4. Temperatura.....	13
2.2.5. pH.....	13
2.2.6. Tempo de retenção Hidráulica.....	13
2.2.7. Demanda Química de Oxigênio	13
2.3. Biogás	14
2.4. Biomassa da produção da cerveja.....	14

2.4.1. Malte de Cevada.....	14
2.4.2. Lúpulo.....	14
CAPÍTULO III:.....	16
3. METODOLOGIA DE PESQUISA	16
3.1. Descrição Da Área De Estudo	17
3.2. Tipo de pesquisa	18
3.3. Universo e Amostra.....	19
3.4. Técnica de colecta de dados	20
3.5. Técnicas e instrumentos de Colecta de Dados	20
3.5.1. Abordagem qualitativa	20
3.5.2. Abordagem quantitativa	21
3.6. Trabalho experimental	22
3.6.1. Desenho Experimental.....	22
3.7. Descrição do trabalho experimental.....	22
3.7.1. Experiência 1: Determinação do pH da Levedura e Bagaço	22
3.7.2. Experiência 2: Determinação da densidade.....	23
3.7.3. Experiência 3: Determinação do teor de Matéria Mineral (ST; SF; SV) .	24
3.7.4. Experiência 4: Demanda Química de Oxigénio	25
3.7.5. Experiência 5: Montagem dos BDs usados na DA.....	26
3.7.7. Experiência 7: Ensaio de Digestão e Co-digestão Anaeróbia.....	27
3.7.8. Experiência 8: Análise da qualidade de biogás	27
CAPÍTULO IV	28
4.0. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	28
4.1. RESULTADOS DA CARACTERIZAÇÃO FÍSICA.....	28
4.1.1. Resultados da Determinação do pH e Densidade.....	28
4.1.2. Resultados da Determinação de MM (ST, SV e SF).....	30
4.1.3. Resultados da Determinação da DQO.....	31
4.1.4. Resultados da Análise das Variáveis Temperatura e TRH.....	34
4.1.5. Resultados da avaliação teórico de produção específica de metano	36
CAPÍTULO V	39
5.0. CONCLUSÕES	39
5.1. PROPOSTAS	39
5.2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40
Apêndices	

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Modelo de economia circular	8
Figura 2: Fases da DA.....	10
Figura 3: Local de estudo.....	18
Figura 4: Desenho Experimental	22
Figura 5: Determinação de pH	23
Figura 6: Determinação da densidade	23
Figura 7: Fluxograma da determinação de MM.....	24
Figura 8: Análise de MM no Substrato	25
Figura 9: Determinação de DQO	26
Figura 10: Modelo de Biodigestores usados na DA	26
Figura 11: Ensaio de biodegradação anaeróbica	27
Figura 12: Gráfico da variação de TS, SV e SF em Bg e Lv	31
Figura 13 - Determinação de DQO em Lev.	32
Figura 14 - Determinação de DQO em Bg.....	32
Figura 15: Tendências mensais da variação da temperatura	34
Figura 16: Variação da temperatura durante o mês de janeiro.....	35
Figura 17: Reavaliação do sistema de produção de biogás	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Reações do processo anaeróbico	12
Tabela 2: Determinação de ST, SV, SF.....	25
Tabela 3: Dimensionamento dos Biodigestores e Substratos.....	27
Tabela 4: Resultados da determinação de pH, Massa volúmica	28
Tabela 5: Resultados da determinação de MM	30
Tabela 6: Determinação da concentração da DQO	32

LISTA DE SIGLAS, SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

AA - Aminoácidos

AGCL - Ácidos Gordos de Cadeia Longa

AGV - Ácidos Gordos Voláteis

Bg - Bagaço

BD1 - Biodigestor 1

BD2 - Biodigestor 2

BD3 - Biodigestor 3

C° - Graus Celsius

COVs - Compostos Orgânicos Voláteis

DQO - Carência Química de Oxigênio

DQOL - Carência Química de Oxigênio em Líquidos

DA - Digestão Anaeróbica

FCNM - Faculdade de Ciências Naturais e Matemática;

g - Gramas;

H - Humidade

H1 - Hipótese Verdadeira

H0 - Hipótese Nula

Lv - Levedura

M(Ac) - Molaridade do Ácido Sulfúrico

mg - Miligrama;

mg/l - Miligrama por Litro;

ml - Mililitro;

pH - Potencial Hidrogeniônico

SF - Sólidos fixos

ST - Sólidos Totais

SV - Sólidos Voláteis

T - Temperatura

TRH -Tempo de Retenção Hidráulica

UPM - Universidade Pedagógica de Maputo

V₁ - Volume inicial

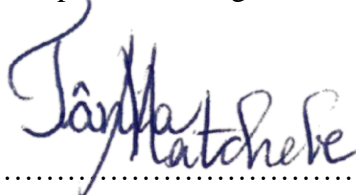
V₂ -Volume final

Declaração de Honra

Eu, Tânia Carla António Mondlana Matchebe, declaro por minha honra, que a presente monografia resultou de uma pesquisa profunda levada a cabo na Universidade Pedagógica (Faculdade de Ciências Naturais e Matemática) por mim, em coordenação com o meu supervisor. A mesma nunca foi defendida ou publicada dentro da Universidade Pedagógica nem em nenhuma outra instituição, tanto de ensino como de pesquisa interna ou externa.

Ela corresponde à sistematização do processo investigativo desta pesquisa desde a identificação do problema, a fundamentação até aos resultados do estudo, estando suportado num referencial teórico específico da área cujas obras consultadas estão devidamente apresentadas na Bibliografia deste trabalho.

Maputo, 29 de Agosto de 2022



.....

(Tânia Carla António Mondlana Matchebe)

Dedicatória

Dedico esta monografia à minha filha, Romilly Meghan, pois foi logo após o seu nascimento que reiniciei a jornada que me conduziu até esta etapa final. Por outro lado, anseio que esta monografia sirva de inspiração à minha irmã Solange, para que complete a sua jornada universitária em tempo recorde.

Agradecimentos

Os meus agradecimentos vão aos meus queridos pais, António e Ricardina Mondlana, que sempre apoiaram-me nos meus sonhos e projectos. Este é o resultado dos seus esforços.

Um agradecimento especial vai ao meu esposo Zélio Matchebe por todo incentivo, apoio e suporte. Sou-lhe muito grata por ajudar-me a chegar até esta etapa.

Sou ainda grata à todos os docentes que influenciaram a minha trajectória estudantil, em especial ao Professor Catedrático Armindo António Monjane, pela forma humana, empática e didáctica com que lecionava. Aos Professores Doutores Filomeno Inroga e Malaquias Tsambe vai o meu agradecimento pelo impacto positivo que criaram em toda minha jornada científica. Ao Mestre Alberto Arnaldo Boane, MSc., pela orientação, atenção dedicada e paciência ao longo de todo o projeto da minha monografia, assim como aos colegas que contribuíram de alguma forma em todo o meu Processo de Ensino-Aprendizagem, como o caso do colega Costa, vai a minha total gratidão; sem esquecer de mencionar o apoio do técnico de laboratório Simbine.

Resumo

O presente trabalho tinha como objectivo avaliar o potencial bioenergético da biomassa residual gerada pela produção de cerveja como alternativa energética limpa e renovável. O estudo fundamenta-se no facto de que grande parte da biomassa gerada na indústria cervejeira tem como destino o descarte, o que de certo modo não representa nenhum ganho para a empresa e figura-se como uma das vias de contaminação do meio ambiente. A pesquisa recorreu à uma metodologia fundamentada no método experimental e comparativo com uma abordagem mista (qualitativa e quantitativa). Como técnicas de colecta de dados recorreu-se a: observação directa (que consistiu no reconhecimento do sistema de gestão de resíduos), pesquisa bibliográfica (que consistiu na recolha de dados sobre a economia circular e digestão anaeróbica) e a experimentação, que permitiu testar as hipóteses através da avaliação dos parâmetros de qualidade. Esta pesquisa foi realizada durante o período de Novembro à 22 de Fevereiro de 2022. As amostras foram colectadas na empresa em estudo seguindo uma amostragem não probabilista por conveniência. Foram determinados 4 parâmetros aplicando métodos e técnicas recomendadas. Os parâmetros determinados foram: pH (método potenciométrico), Massa volúmica (método instrumental-Densímetro), MM (método gravimétrico Loss of Ignition), DQO e rendimento em biogás com base nos valores de VS e DQO. Com base nos resultados obtidos conclui-se que, nas condições em que os dois substratos são descartados não possuem elevado potencial de geração de biogás. Deste modo, recomenda-se o tratamento dos substratos antes da aplicação na digestão anaeróbica.

Palavras-chave: *Economia circular, gestão de resíduos, energia renovável*

Abstract

The present work with the theme "Biogas Generation through Residual Biomass from the Brewing Industry: Case of the Circular Economy Model at Heineken Mozambique" has as general objective to evaluate the bioenergetic potential of residual biomass generated by beer production as a clean and renewable energy alternative. The study is based on the fact that a large part of the biomass generated in the brewing industry is only destined for disposal, therefore, it does not represent any gain for the company. On the other hand, it might contribute for the environment contamination. The research used a methodology based on the experimental and comparative method with a mixed approach (qualitative and quantitative). The data collection techniques in place were: direct observation (recognition of the waste management system), bibliographic research (collecting data on the circular economy and anaerobic digestion) and experimentation (test of hypotheses through the evaluation of quality parameters). This survey was carried out during the period from November 2021 up to February 22, 2022. Samples were collected at the company under study following a non-probabilistic convenience sampling. 4 parameters were determined applying recommended methods and techniques. The parameters determined were: pH (potentiometric method), Density (instrumental method-Densimeter), MM (Loss of Ignition gravimetric method), DQO and biogas yield based on VS and DQO values. Based on the results obtained, it is concluded that, under the conditions in which the two substrates are discarded, they do not have a high potential for generating biogas. Therefore, it is recommended to treat the substrates before application in anaerobic digestion.

Keywords: Circular economy, waste management, renewable energy

CAPÍTULO I

1.0. INTRODUÇÃO

A busca por combustíveis alternativos para substituir a demanda actual de combustíveis fósseis, bem como a mitigação dos impactos ambientais, cresce mundialmente, abrindo uma nova perspectiva no campo da pesquisa. A composição dos efluentes gerados na produção de cerveja favorece a aplicação de processos fermentativos para o seu tratamento, com a vantagem da possível geração de compostos energéticos (H_2 e CH_4) por meio da digestão anaeróbia (VERONEZE, 2019).

A diferente composição da matéria-prima utilizada para produzir biogás irá ter uma grande influência na composição final do gás formado, daí que este seja um ponto bastante importante a ter em conta, consoante a utilização que se pretenda dar ao biogás (CARVALHO, 2010).

O processo de produção de biogás para água residuária de cervejaria é bem caracterizado. Estudos que buscam a influência de variáveis específicas têm sido conduzidos como os efeitos de particularidades do inóculo e da presença de sanitizantes. Uma vez que cada tipo de inóculo e de reactor tem uma condição favorável de produção distinta, estudos específicos são necessários para cada sistema a fim de determinar as condições óptimas de produção do biogás (ARANTES, 2018).

O biogás ideal é aquele que possui uma maior percentagem de metano em relação aos outros compostos, conferindo-lhe assim um poder calorífico superior. As concentrações dos compostos de enxofre, de ião amónio e dos compostos orgânicos voláteis devem ser as mais baixas possíveis, porque estes compostos dão origem a problemas na utilização do biogás (PETERSON & WELLINGER, 2009) e quando libertados na atmosfera em grandes quantidades são potenciais causadores de problemas ambientais. (CARVALHO, 2010).

O presente trabalho, busca avaliar a viabilidade da aplicação do modelo de economia circular na empresa Heineken Moçambique através da geração de biogás a partir da biomassa residuária de malte gerada como produto secundário na produção de cerveja.

1.1. Problematização

A indústria cervejeira usa basicamente como matéria-prima o malte, grãos e água. O malte é a fonte de amido da cerveja, o ingrediente que fermenta, e os grãos usados podem ser milho, cevada, arroz, trigo e aveia, entre outros (MARSARIOLI, 2019).

Desta forma, durante o processo de produção, são gerados, para além da cerveja, certos resíduos químicos, como o bagaço de malte e a levedura de cerveja. O bagaço de malte constitui cerca de 85% do total de resíduos obtidos da indústria cervejeira (DRAGONE & ROBERTO, 2010). À cada 100 litros de cerveja produzida são gerados entre 15 a 20 kg de bagaço (XIROS & CHRISTAKOPOULOS, 2012).

Estes resíduos com composição química diversificada são, na sua maioria, desperdiçados pela indústria. Uma pequena parte é aproveitada no âmbito de geração de adubos/fertilizantes orgânicos para as comunidades ao redor da indústria. Outra parte é aproveitada como alimento para animais (SANTOS, 2014), todavia, a maior parte destes resíduos é acumulada no local de geração, o que pode constituir um problema de saúde pública, seja pela exalação de odores, atração de roedores e insectos.

No caso de estudo, Heineken Moçambique, esta problemática é também verificada, em duas vertentes: por um lado, a geração excessiva de resíduos que, não sendo aproveitados, constituem um problema de saúde pública. Por outro lado, a falta de valorização destes resíduos no contexto de geração de energia, sendo que, por se tratar de uma indústria com processos complexos, o consumo de energia é considerável.

Estudos mostram que estes resíduos podem ser aproveitados para geração de energia, contribuindo desta forma para um modelo de economia circular cada vez mais eficiente que possibilita uma gestão sustentável de resíduos e valorização energética dos mesmos.

Com vista a colmatar esta problemática, a presente pesquisa procurou responder em que medida a implementação de um modelo de economia circular através da geração de biogás para fins energéticos mostra-se eficiente para uma gestão sustentável de resíduos gerados pela indústria cervejeira.

Na sua maioria, as indústrias produtoras de cerveja possuem um sistema de tratamento composto apenas por processos físicos e biológicos. Convencionalmente, o tratamento

preliminar é realizado por grade, peneira e decantador, já o tratamento biológico é realizado por lodo ativado ou processos fermentativos (REINOLD, 1997).

A aplicação destas técnicas de tratamento representa uma desvantagem do processo, para além de ser um factor de inviabilidade e sustentabilidade económica. Os resíduos sólidos gerados são grãos constituídos de restos de casca e polpa dos grãos, misturados, em suspensão ou dissolvidos no mosto. Estes são gerados principalmente nas etapas de filtragem, envase e tratamento de água e efluentes líquidos (SANTOS, 2005).

Neste contexto, a pergunta de partida é a seguinte:

Em que medida a geração do Biogás com base na Biomassa Residual afigura-se como estratégia sustentável de economia no modelo circular, na indústria cervejeira?

1.2. Justificativa da escolha do tema

Os resíduos sólidos quando geridos de forma inadequada causam impactos à saúde humana e a qualidade ambiental. Desta forma, aproveitamento energético de resíduos sólidos orgânicos por meio da digestão anaeróbia torna-se numa alternativa viável visando a destinação adequada de resíduos orgânicos gerados no processo industrial e possibilitando a geração de energia limpa (SIMÕES *et al.*, 2019).

Portanto, uma alternativa à contribuição para o aumento em energia renovável, a digestão anaeróbia de resíduos sólidos orgânicos de origem industrial, vem sendo estudada e aplicada, tendo como resultado do processo o biofertilizante e o biogás, podendo ser aplicados na agricultura e na geração de energia térmica ou elétrica, respectivamente (COLUSSI *et al.*, 2016; VITANZA *et al.*, 2016; PANJIČKO *et al.*, 2017).

Ainda, torna-se importante examinar uma abordagem alternativa para digestão anaeróbica, como a aplicação da co-digestão anaeróbia, de forma a superar as deficiências da mono-digestão (ZHANG *et al.*, 2013).

1.3. Relevância

Estudos revelam um aumento gradual dos problemas ambientais que em grande parte são originados pela destruição do sistema biológico do ecossistema, tal como é o caso do ciclo

do carbono e vários outros ciclos, cujo papel é principalmente manter as condições ambientais- padrão. Desta forma, torna-se relevante procurar alternativas que ajudem a mitigar os problemas ambientais através de formas alternativas de uso sustentável e saudável dos recursos de que se dispõe.

No mesmo entender, estudos apontam para a poluição do solo e conseqüentemente do sistema dos aquíferos à factores antropogénicos. Um dos fenómenos da poluição dos solos também está ligado ao descarte inadequado de substâncias químicas cujo período de meia vida ronda a milhões de anos.

1.4. Objectivos

1.4.1. Geral

Avaliar a viabilidade de geração de Biogás a partir da Biomassa residual proveniente da produção de cerveja como estratégia do modelo de economia circular na Heineken Moçambique.

1.4.2. Específicos

- Caracterizar físico-quimicamente a biomassa gerada pela produção de cerveja,
- Determinar o rendimento e qualidade do Biogás gerado pela digestão anaeróbica de resíduos provenientes do processo de produção de cerveja,
- Discutir o contributo do processo de geração do Biogás na execução do modelo de economia circular na fábrica.

1.5. Questões científicas

- Qual é a composição físico-química da biomassa gerada pela produção de cerveja?
- Qual é o rendimento e qualidade do Biogás gerados pela digestão anaeróbica dos resíduos?
- De que forma a geração do Biogás poderá contribuir para a execução do modelo de economia circular na fábrica?

1.6. Hipóteses

H1: A biomassa gerada pela produção de cerveja possui todas características e propriedades-padrão necessárias para geração de biogás;

H0: A biomassa gerada pela produção de cerveja não possui todas características e propriedades-padrão necessárias para geração de biogás;

H2: A digestão anaeróbica dos resíduos apresenta alto rendimento e qualidade em Biogás;

H0: A digestão anaeróbica dos resíduos apresenta baixo rendimento, contudo, boa qualidade em Biogás;

H3: A geração do Biogás poderá contribuir para a execução do modelo de economia circular na fábrica sugerindo boas alternativas para o sistema de gestão de resíduos;

H0: A geração do Biogás não contribui para a execução do modelo de economia circular pois, não sugere boas alternativas para o sistema de gestão de resíduos.

1.7. Delimitação do tema

A presente pesquisa cingiu-se de avaliação dos parâmetros de qualidade da Biomassa a ser usada no processo de digestão anaeróbica, como forma de identificar a composição do substrato que se pretende empregar. Os parâmetros são os seguintes: pH, alcalinidade, Massa volúmica (densidade), DQO, Matéria mineral e Rendimento.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo serão descritos de forma sucinta todos conceitos fundamentais inerentes a digestão anaeróbica, economia circular e seu alinhamento com o problema da presente pesquisa.

2.1 Economia circular

A Economia Circular é uma abordagem estratégica e operacional que assenta na redução, reutilização, recuperação e reciclagem de materiais e energia potenciando o valor e, conseqüentemente, o tempo de vida útil dos produtos, materiais e recursos na economia (PNCT, 2017).

A Economia Circular é uma forma de reequacionar a abordagem aos recursos. O actual modelo económico dominante que satisfaz as necessidades da sociedade, nomeadamente de habitação, alimentação, mobilidade e comunicação, baseia -se na utilização linear dos recursos.

Esta actuação considera a existência relativamente abundante e barata de materiais e energia, para alimentar linhas de montagem, automação e produção em série, envolvendo uma crescente extração de recursos, para a criação de novos produtos e que por sua vez após o uso são encaminhados para eliminação

2.1.1. Objetivos da Economia circular

Economia circular é um modelo que propõe transformar o sistema vigente (cuja trajetória é: extração, transformação, consumo e descarte) a partir da reciclagem e da revalorização, ao longo dos processos de produção, dos nutrientes biológicos e técnicos.

Segundo o professor Maurício Ponte (2021), para que se possa aplicar o conceito de Economia Circular é preciso desenhar e fazer um planejamento antes da produção de um produto, para que possa ser, posteriormente, aproveitado em outro sistema — o que dá ao design importância vital no processo.

Este modelo de economia teve maior repercussão no mundo por volta do ano 2005, com a criação da Fundação *Ellen McArthur Foundation*, que preconizava a adoção de uma economia não apenas menos danosa, mas regenerativa, tanto dos ecossistemas como dos tecidos sociais que têm sido sistematicamente destruídos pelas formas atuais como se obtém riqueza. (MENA, 2016)

A Economia Circular visa manter o valor dos produtos, materiais e recursos pelo maior tempo possível, devolvendo-os ao ciclo do produto no final da sua utilização, minimizando a geração de resíduos. Quanto menos produtos descartamos, menos materiais extraímos. Trata -se de uma abordagem de ciclo de vida em que o *design* e a produção de produtos contribuem para a economia de recursos, a gestão eficiente de resíduos e para a criação de novas oportunidades de negócios, conforme ilustra a imagem a seguir. (MENA, 2016)



Figura 1: Modelo de economia circular

Fonte: <https://apcergroup.com/pt/newsroom/218/sustentabilidade-e-a-economia-circular>

A economia circular tem como fundamento o melhor aproveitamento dos recursos naturais, evitando-se desperdícios e descartes. Ela pode ser aplicada em qualquer escala, para indivíduos, organizações, cidades etc. Ao propor desafios para a produção de bens recirculando os recursos utilizados, surgirão novas oportunidades de trabalho e negócios. A transição do actual modelo económico linear para o circular exige, principalmente, políticas públicas, linhas de financiamento e novos modelos de negócio.

2.1.2. Vantagens da Economia circular

Em termos económicos, as vantagens da Economia Circular são reconhecidas a três níveis:

- Ambiental, dadas as suas actividades serem de baixo carbono: a reutilização e a extensão da vida útil contribuem para a salvaguarda dos recursos hídricos, energéticos e materiais que são incorporados nos bens;
- Económico, dado os produtos re-fabricados poderem ser mais baratos que os novos equivalentes;
- Social, dado envolver melhores condições de trabalho e de vida.

2.2. Conceito de digestão anaeróbica

A digestão anaeróbia (DA) é um processo biológico catalisado por ação de microrganismos anaeróbios, que possibilita a conversão de compostos de natureza biodegradável, em biogás. De entre os processos biológicos existentes, a DA é considerada a tecnologia mais promissora, tendo evoluído consideravelmente nos últimos dez anos (PIRES, 2015).

A DA que ocorre naturalmente pela deposição em aterro da fracção orgânica dos RSU, conduz à libertação para a atmosfera de consideráveis quantidades de metano e dióxido de carbono, dois dos gases com maior impacto no efeito estufa (KHALID *et al.*, 2011).

2.2.1. Fases da digestão anaeróbia

O processo de DA ocorre em quatro etapas conduzidas pelos grupos distintos de microrganismos, dentre eles identificam-se as bactérias.

A Figura a seguir contém o resumo das fases da DA:

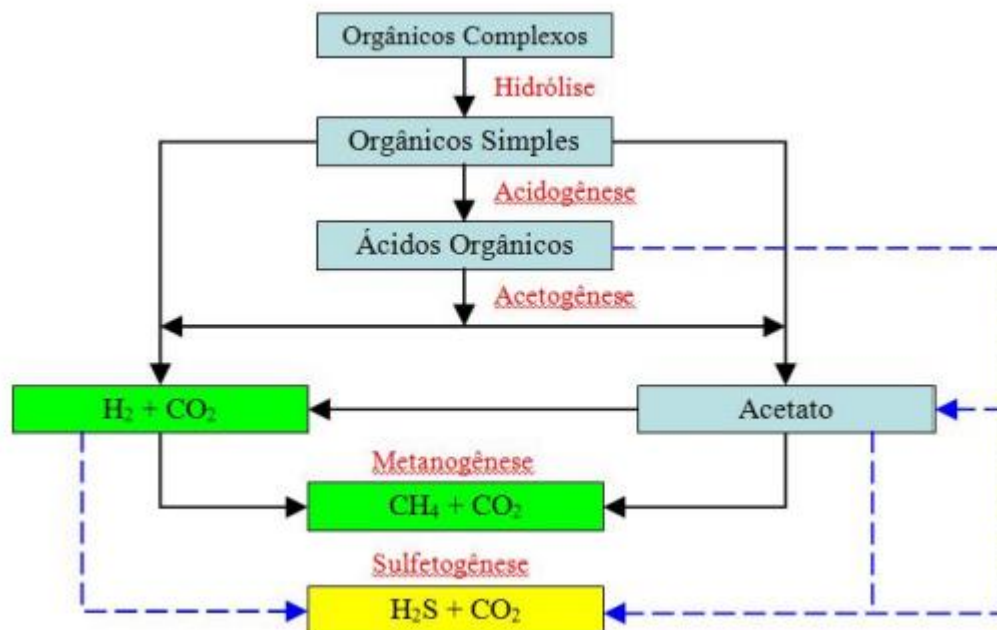


Figura 2: Fases da DA

Fonte: WILLIAMS (2006)

Os compostos orgânicos dos resíduos podem ser classificados em diversos grupos biológicos representados pelas proteínas, glúcidos e lípidos. Os glúcidos são de longe os maiores constituintes dos resíduos biodegradáveis e incluem celuloses, amido e açúcares. As proteínas representam um vasto complexo de materiais orgânicos compostos por grupos de aminoácidos. Os lípidos são compostos constituídos por ácidos gordos.

a) Hidrólise

Compostos orgânicos complexos, como lípidos, proteínas, ácidos nucleicos e polissacarídeos são hidrolisados por ação de enzimas extracelulares (hidrólases) que os convertem em compostos mais simples, tais como, aminoácidos (AA), monossacarídeos (MS), ácidos gordos de cadeia longa (AGCL) capazes de atravessar a membrana celular dos microrganismos, para serem convertidos.

No entanto, o tempo de decomposição destas macromoléculas é variável, no caso dos polissacarídeos, a hidrólise pode ocorrer em poucas horas, para as proteínas e lípidos, são necessários alguns dias. A lignocelulose e lignina são compostos muito difíceis de decompor pelas bactérias, sendo a sua hidrólise muito lenta, pelo que o tempo de

permanência não é suficiente para a sua decomposição. Em geral, a hidrólise pode ser considerada como uma das etapas limitantes da AD (VASCONCELOS & BOANE, 2021).

b) Acidogénese

Etapa mediada pelas bactérias acidogénicas, responsáveis por utilizar compostos orgânicos produzidos na hidrólise para produzir cadeias pequenas de ácidos orgânicos (C1-C5), tais como, ácido acético, ácido propiónico (HPr), ácido butírico (HBu), ácido valérico (HVa), bem como, álcoois, hidrogénio e dióxido de carbono.

c) Acetogénese

Segundo Williams (2006) citado por Vasconcelos & Boane (2021) “Os substratos produzidos na acidogénese são utilizados para produzir ácido acético, dióxido de carbono, hidrogénio. As bactérias homoacetogénicas produzem igualmente o Hidrogénio, que é um composto fundamental para a sobrevivência das bactérias metanogénicas”.

Durante a Acidogénese, também designada por fermentação ácida, os produtos gerados na hidrólise são transportados para o interior das células e depois degradados por bactérias acidogénicas fermentativas. Estas bactérias dão origem a AGV, ácido acético e derivados, dióxido de carbono, hidrogénio,

d) Metanogénese

Esta fase final da digestão anaeróbia corresponde à etapa principal de produção de metano. Níveis baixos de H_2 promovem a actividade das bactérias metanogénicas que convertem o acetato e a mistura de H_2 e CO_2 em metano e CO_2 (PEREIRA, 2013).

- Reações importantes nos processos anaeróbicos

A tabela a seguir contém algumas das mais importantes reações que se digladiam num processo anaeróbico.

Tabela 1: Reações do processo anaeróbico

Oxidações (doadoras electrões)		
Propionato → acetato	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COO}^- + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+ + \text{HCO}_3^- + \text{H}_2$	+76,1
Butirato → acetato	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COO}^- + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+ + 2\text{H}_2$	+48,1
Etanol → acetato	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+ + 2\text{H}_2$	+9,6
Lactato → acetato	$\text{CH}_3\text{CHOHCOO}^- + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{HCO}_3^- + \text{H} + 2\text{H}_2$	-4,2
Acetato → metano	$\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HCO}_3^- + \text{CH}_4$	-31
Reduções (recebe electrões)		
HCO_3^- → acetato	$2\text{HCO}_3^- + 4\text{H}_2 + \text{H}^+ \rightarrow \text{CH}_3\text{COO}^- + 4\text{H}_2\text{O}$	-104,6
HCO_3^- → metano	$\text{HCO}_3^- + 4\text{H}_2 + \text{H} \rightarrow \text{CH}_4 + 3\text{H}_2\text{O}$	-135,6
Sulfato → sulfeto	$\text{SO}_4^{2-} + 4\text{H}_2 + \text{H}^+ \rightarrow \text{HS}^- + 4\text{H}_2\text{O}$	-151,9
Sulfato → sulfeto	$\text{SO}_4^{2-} + \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+ \rightarrow 2\text{HCO}_3^- + \text{H}_2\text{S}$	-59,9
Nitrato → amônia	$\text{NO}_3^- + 4\text{H}_2 + 2\text{H}^+ \rightarrow \text{NH}_4^+ + 3\text{H}_2\text{O}$	-559,9
Nitrato → amônia	$\text{NO}_3^- + 4\text{H}_2 + 2\text{H}^+ \rightarrow \text{NH}_4^+ + 3\text{H}_2\text{O}$	-511,4
Nitrato → nitrogénio	$2\text{NO}_3^- + 5\text{H}_2 + 2\text{H}^+ \rightarrow \text{N}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$	-1120,5

Fonte: Adaptado (BOANE & MONJANE, 2017)

2.2.2. Condições operacionais de produção de biogás

De acordo com Montoro (2017) “o biogás é um biocombustível gasoso constituído maioritariamente por metano (CH_4) dióxido de carbono (CO_2), contendo também, vestígios de compostos, tais como ácido sulfídrico (H_2S), oxigénio (O_2), amoníaco (NH_3) e siloxanos”. O biogás pode ser produzido em ETAR, aterros sanitários e unidades de co-digestão.

Globalmente, é constituído por 40 a 70% de CH_4 , 30 a 60% de CO_2 e contém vestígios de amoníaco, ácido sulfídrico e hidrogénio. As condições operacionais dizem respeito a todos factores que podem influenciar a qualidade bem como o processo de produção de biogás (VASCONCELOS & BOANE, 2021).

2.2.3. Carga orgânica

Segundo Cantrell *et al.*, (2008) apud Vasconcelos & Boane (2021) que, “a carga orgânica é determinada como sendo a quantidade de sólidos voláteis (SV) ou carência química de oxigénio (CQO) que entra por dia e por unidade de volume do digestor. A utilização de elevadas taxas de carga orgânica confere vantagens económicas visto que o digestor pode ser de menor dimensão, tornando-o mais barato.

2.2.4. Temperatura

Segundo Taimo & Boane (2021) “temperaturas baixas durante o processo originam uma diminuição das taxas de crescimento dos microrganismos, do grau de utilização dos substratos e da produção de biogás. Podem ainda resultar na exaustão da energia celular e na diminuição de substâncias intracelulares. Temperaturas muito elevadas podem também diminuir a produção de biogás, devido à diminuição da concentração, no meio líquido, dos AGV devido ao aumento da sua volatilização para a fase gasosa o que diminui os substratos disponíveis para a DA”.

A melhor temperatura operacional é de a 35°C durante um período de digestão de 18 dias. Uma pequena variação da temperatura de 35°C para 30°C pode causar uma redução significativa nos níveis de biogás produzido. Uma gama de temperaturas situadas entre os 35°C e os 37°C é considerada apropriada para a produção de metano (PEREIRA, 2013).

2.2.5. pH

O pH é um parâmetro fundamental no meio anaeróbico, pois, o seu efeito pode influenciar a actividade enzimática dos microrganismos presentes no meio. Comumente, existem bactérias com maior índice de tolerância às alterações de pH, tais como as bactérias acidogénicas. Ela tem como intervalo de tolerância de pH em torno de 4,0 e 6,0 (VASCONCELOS & BOANE, 2021).

2.2.6. Tempo de retenção Hidráulica

Segundo Cantrell *et al.*, (2008) “este factor é determinado como o tempo em média que o líquido é mantido no processo digestivo, sendo calculado como a razão entre o volume do digestor e o caudal volumétrico do efluente. Se não houver um correcto acerto do TRH pode ficar grande parte da matéria orgânica por degradar, no caso do tempo em que esta se encontra no digestor não ser o suficiente para que os microrganismos se multipliquem razoavelmente e a possam digerir de forma eficiente”.

2.2.7. Demanda Química de Oxigênio

É um parâmetro importante a ser monitorado durante a digestão anaeróbia, pois indica a estabilização da matéria orgânica. Conhecendo-se os valores de DQO iniciais do resíduo adicionado no biodigestor e a concentração de DQO após tratamento, é possível conhecer a eficiência de remoção da matéria orgânica, quanto maior sua eficiência de remoção, maior será a degradação do resíduo.

2.3. Biogás

O biogás é um gás inflamável produzido pela degradação da matéria orgânica fermentada dentro de determinados limites de temperatura, teor de umidade e acidez, em um ambiente impermeável ao ar e realizado por microrganismos (VASCONCELOS & BOANE, 2021). O biogás gerado pela indústria cervejeira possui uma concentração de metano de 60% e apresenta um valor mais conservatório de poder calorífico, o qual é inferior, na ordem de 20MJ/Nm³

O uso do biogás traz inúmeras vantagens, principalmente, no que se trata dos benefícios sócio-ambientais, uma vez que a sua utilização evita o lançamento de metano na atmosfera, e, por ser um gás de origem renovável pode trazer retorno financeiro com a sua utilização e aproveitamento (FARIA, 2012)

2.4. Biomassa da produção da cerveja

A biomassa de produção de cerveja constitui a matéria de valor económico muito concorrido devido a demanda que esta tem tido por parte das empresas cervejeiras a nível mundial. Dentre ela destacam-se as seguintes:

2.4.1. Malte de Cevada

A cevada é o principal cereal maltado utilizado para fabricação de cerveja. O termo malte é usado para cereais que passaram pela malteação que consiste, basicamente, em deixar os grãos com uma grande quantidade de enzimas para reduzir o amido presente em açúcares fermentáveis (PASSARELLI, 2008 & VERONEZE, 2019).

2.4.2. Lúpulo

O lúpulo não altera o teor alcoólico nem o corpo da cerveja. São necessários apenas de 40 a 300 gramas de lúpulo para produzir 100 litros do produto final (MORADO, 2009). O lúpulo, na verdade, é muito mais que um ingrediente a mais para equilibrar os aromas e sabores.

Devido a seus princípios ativos e por suas características antibióticas (sendo um bactericida), o lúpulo favorece a atividade da fermentação, inibindo outros processos indesejáveis, além de ser antisséptico e conservante natural, prolongando a vida útil da cerveja (PALMER, 2006).

2.4.3. Resíduos gerados pelo processo produtivo da cerveja

Subprodutos são gerados ao longo do processo cervejeiro, apesar dos avanços tecnológicos proporcionarem a indústria cervejeira grande economia pela menor geração certos resíduos, dificilmente têm redução de quantidade, como o bagaço de malte e a levedura residual cervejeira.

Dependendo da fase em que o resíduo é retirado, pode-se acarretar maiores quantidades de efluentes, principalmente pelo elevado teor de humidade que os compõe, entre 80 e 90%, promovendo grande arraste de mosto e perda de extrato, bem como de cerveja.

CAPÍTULO III

3. METODOLOGIA DE PESQUISA

Por forma a alcançar o predisposto nos objectivos, recorreu-se à uma metodologia fundamentada no método experimental com uma abordagem quantitativa.

Os dados relevantes ao estudo foram obtidos através da aplicação das seguintes técnicas de colecta de dados a: observação directa, pesquisa bibliográfica e a experimentação, e teve como método de abordagem a dedução, pois, parte de princípios conhecidos como verdadeiros e inegáveis até a formulação lógica-formal de conclusões (VASCONCELOS & BOANE, 2021).

A escolha deste método é fundamentada por Fonseca (2002) que defende que, ‘o método experimental apresenta maior exactidão e é específico para pesquisas quantitativas em ciências naturais, permitindo sistematizar a influência e interacção entre variáveis em estudo’. Para a presente pesquisa, tais variáveis são a temperatura, TRH. Rendimento e qualidade do biogás.

Para Boane (2017), “o método experimental é um conjunto de procedimentos explicativos que consiste em submeter os objectos de estudo à influência de certas variáveis, em condições controladas e conhecidas pelo investigador, para observar os resultados que a variável produz no objecto em estudo”.

O estudo foi realizado em fases, tal como se descreve a seguir.

a) Pré-campo

Consistiu no levantamento literário de dados inerentes aos processos de produção de cerveja, com enfoque para a biomassa residuária produzida, sua caracterização e os métodos de caracterização dos parâmetros físico-químicos. Buscou-se de igual modo, alguns aspetos relacionados com o processo de bio digestão com base no resíduo do bagaço do malte e o processo de abertura até a fase final das análises laboratoriais.

b) Trabalho de campo

Nesta fase realizou-se a colecta das amostras nos locais de descarte mediante o uso de garrafas plásticas de 80 litros para os dois tipos de amostras. A amostragem foi realizada de forma a satisfazer a metodologia desenhada para o trabalho.

c) Trabalho De Laboratório

Esta fase foi dividida em 3 subfases e todas tiveram lugar no laboratório de química da Faculdade de Ciências Naturais e Matemática da UPM. Na primeira subfase foram determinados os parâmetros de baixa instabilidade, tais como: DQO, Densidade, pH e Temperatura.

Na segunda subfase foram determinados os parâmetros de qualidade de biomassa, tais como: teor de água; Massa Volúmica e por fim foi avaliada a qualidade e o rendimento em biogás gerado com base em métodos e respectivas técnicas recomendadas.

3.1. Descrição Da Área De Estudo

A **Heineken** é uma empresa cervejeira com origem nos Países Baixos, fundada em 1863 por Gerard Adriaan Heineken na cidade de Amsterdão. Heineken possui cerca de 140 cervejarias em mais de 70 países, empregando aproximadamente 85.000 pessoas. A produção anual é de cerca de 121 800 000 de hectolitros de cerveja, portanto, é a segunda maior cervejaria do mundo, ficando atrás apenas da AB-InBev. Em 2019 teve lucro de 2,17 bilhões de dólares.

A Heineken Moçambique é a segunda maior empresa cervejeira no país e se dedica à comercialização e distribuição de bebidas alcoólicas (cervejas e sidras). Actualmente, produz localmente, em instalações próprias, as marcas Txilar e Heineken e importa outras marcas para comercialização como a Amstel e Strongbow.

A Heineken Moçambique tem a sua fábrica baseada na província de Maputo, mais concretamente na localidade Bobole, distrito de Marracuene, com as coordenadas a seguir: 25°35'03"S 32°39'58"E.

A imagem a seguir faz uma descrição da sua localização geográfica.

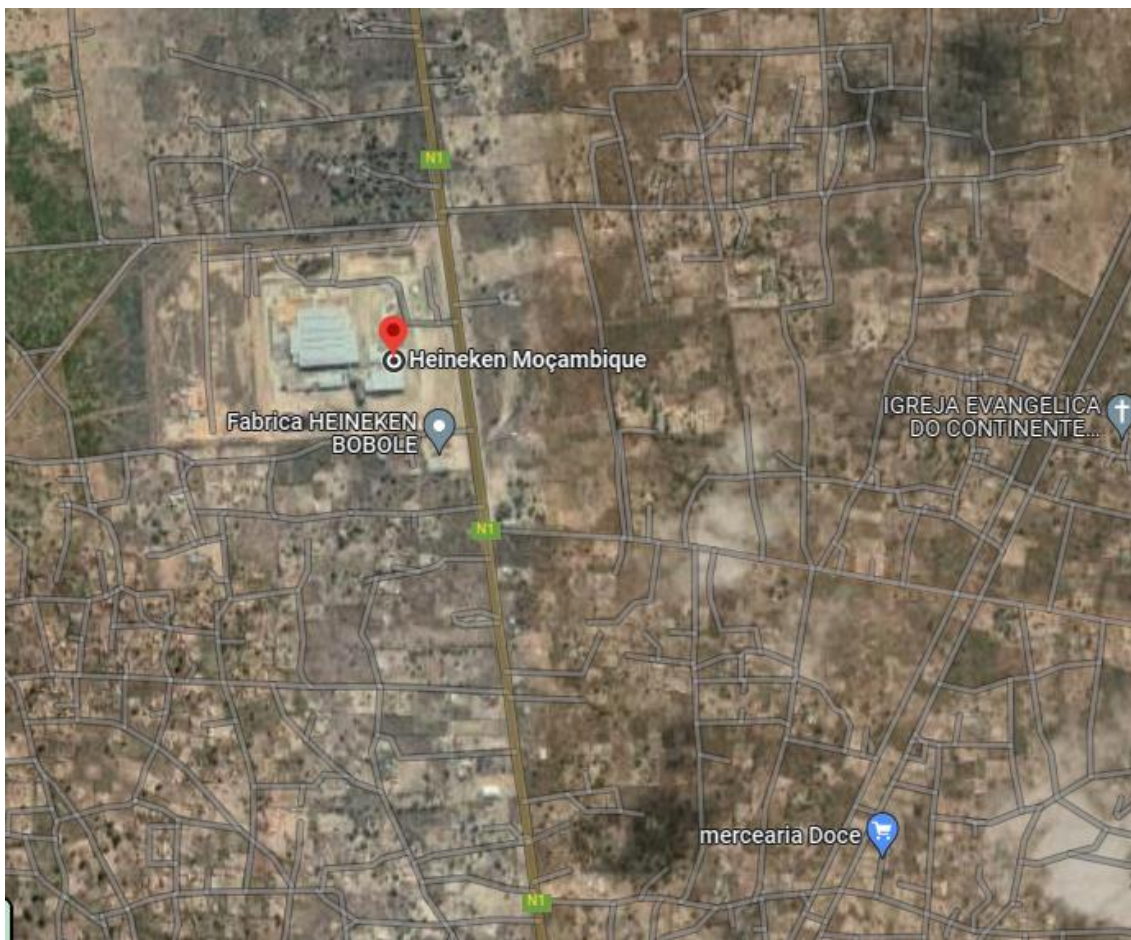


Figura 3: Local de estudo

Fonte:

<https://www.google.com/maps/dir/Heineken+Moçambique,+Km+54+EN1,+Bobole,+Maputo>

3.2. Tipo de pesquisa

a) Quanto à natureza da pesquisa, trata-se de uma pesquisa aplicada; pois objectiva gerar conhecimentos para aplicação prática, dirigidos à solução de problemas específicos. Envolve verdades e interesses locais.

b) Quanto à abordagem da pesquisa, trata-se de uma pesquisa quantitativa, pois diferentemente da pesquisa qualitativa, os resultados da pesquisa quantitativa podem ser quantificados.

Como as amostras geralmente são grandes e consideradas representativas da população, os resultados são tomados como se constituíssem um retrato real de toda a população alvo da pesquisa. A pesquisa quantitativa se centra na objectividade. Influenciada pelo positivismo, considera que a realidade só pode ser compreendida com base na análise de dados brutos, recolhidos com o auxílio de instrumentos padronizados e neutros.

A pesquisa quantitativa recorre à linguagem matemática para descrever as causas de um fenómeno, as relações entre variáveis, etc. A utilização conjunta da pesquisa qualitativa e quantitativa permite recolher mais informações do que se poderia conseguir isoladamente (FONSECA, 2002);

As etapas de pesquisa iniciam pela formulação exacta do problema e das hipóteses, que delimitam as variáveis precisas e controladas que actuam no fenómeno estudado (TRIVIÑOS, 1987).

Para Gil (2007), a pesquisa experimental consiste em determinar um objecto de estudo, seleccionar as variáveis que seriam capazes de influenciá-lo, definir as formas de controlo e de observação dos efeitos que a variável produz no objecto.

c) Quanto aos objectivos da pesquisa

Trata-se de uma pesquisa explicativa, pois este tipo de pesquisa preocupa-se em identificar os factores que determinam ou que contribuem para a ocorrência dos fenómenos (GIL, 2007).

Segundo Gil (2007), uma pesquisa explicativa pode ser a continuação de outra descritiva, posto que a identificação de factores que determinam um fenómeno exige que este esteja suficientemente descrito e detalhado.

3.3. Universo e Amostra

Pela natureza adaptiva do meio social actual, a pesquisa englobou um número restrito de intervenientes, outrossim, trabalhou com parte da população de interesse que fosse representativa e que satisfizesse as exigências de uma pesquisa desta natureza.

Amostra é uma parcela convenientemente seleccionada do universo (população); é um subconjunto do universo (LAKATOS & MARCONI, 2003).

O processo de amostragem foi por probabilidade casual estratificada. Amostras casuais estratificadas: cada estrato, definido previamente, estará representado na amostra (FONSECA, 2002 & GIL, 2007).

3.4. Técnica de colecta de dados

Segundo Fonseca (2002), “a observação directa, trata-se de uma técnica fiel para colecta de informações onde o pesquisador observa os diferentes fenómenos”. No entanto, pela natureza da presente pesquisa (ser experimental) obedeceu o descrito pelo autor acima citado.

- **Observação directa intensiva** - utiliza os sentidos na obtenção de determinados aspectos da realidade. Não consiste apenas em ver e ouvir, mas também em examinar factos ou fenómenos que se deseja estudar. (LAKATOS & MARCONI, 2003).

Este método de colecta de dados baseia-se na actuação de observadores treinados para obter determinados tipos de informação sobre resultados, processos, impactos etc. Requer um sistema de pontuação muito bem preparado e definido, treinamento adequado dos observadores, supervisão durante a aplicação e procedimentos de verificação periódica para determinar a qualidade das medidas realizadas (BARBOSA, 2008).

A observação directa ocorreu durante todas etapas do desenvolvimento da pesquisa, mas de forma priorizada às etapas experimentais de forma a alcançar resultados reprodutíveis e fiáveis.

3.5. Técnicas e instrumentos de Colecta de Dados

3.5.1. Abordagem qualitativa

A pesquisa qualitativa centra-se na objectividade. Influenciada pelo positivismo, considera que a realidade só pode ser compreendida com base na análise de dados brutos, recolhidos com o auxílio de instrumentos padronizados e neutros (VASCONCELOS & BOANE, 2021).

Neste contexto, por se tratar de uma área fabril com acesso restrito, as amostras foram colectadas pelos operadores da empresa em questão, afectos à área de *Brewing*.

i. Observação directa

Segundo Fonseca (2002), “a observação directa, trata-se de uma técnica fiel para colecta de informações onde o pesquisador observa os diferentes fenómenos”. No entanto, pela natureza da presente pesquisa (ser experimental), obedeceu o descrito pelo autor acima citado. Consistiu no reconhecimento do local de estudo e de todas variáveis do processo, ou seja, faz-se o reconhecimento de todas. No entanto, todos fenómenos observados foram posteriormente examinados, tal como defendem Lakatos & Marconi, (2003).

3.5.2. Abordagem quantitativa

Para Gil (2007), a pesquisa experimental consiste em determinar um objecto de estudo, seleccionar as variáveis que seriam capazes de influenciá-lo, definir as formas de controlo e de observação dos efeitos que a variável produz no objecto.

ii. Experimentação

A pesquisa experimental selecciona grupos de assuntos coincidentes, submete-os a tratamentos diferentes, verificando as variáveis estranhas e verificando se as diferenças observadas nas respostas são estatisticamente significantes.

Os efeitos observados são relacionados com as variações nos estímulos, pois o propósito da pesquisa experimental é apreender as relações de causa e efeito ao eliminar explicações conflitantes das descobertas realizadas (FONSECA, 2002).

Foi desenvolvida na Universidade Pedagógica, no laboratório de química. Ao seu todo, foram estudados 6 parâmetros e os protótipos para ensaios de biodegradação foram montados no laboratório de química, tendo em observância as técnicas e métodos recomendados pela ABNT para análise de amostras para DA de acordo com as variáveis que se pretendem avaliar, tal como afirma Boane (2017) citado por Vasconcelos & Boane (2021), “que o método experimental tem a vantagem de possibilitar a análise mais clara e sistematizada sobre a influência e interacção das variáveis estudadas numa determinada hipótese permitindo formular leis gerais sobre um dado fenómeno”.

Os efeitos observados são relacionados com as variações nos estímulos, pois o propósito da pesquisa experimental é apreender as relações de causa e efeito ao eliminar explicações conflitantes das descobertas realizadas.

3.6. Trabalho experimental

No seu todo foram determinados 4 parâmetros de qualidade da biomassa a saber: Demanda Química, pH, Densidade e Matéria Mineral. A determinação de cada parâmetro foi com base em métodos clássicos e instrumentais, tal como se resume no desenho experimental apresentado na Figura a seguir.

3.6.1. Desenho Experimental

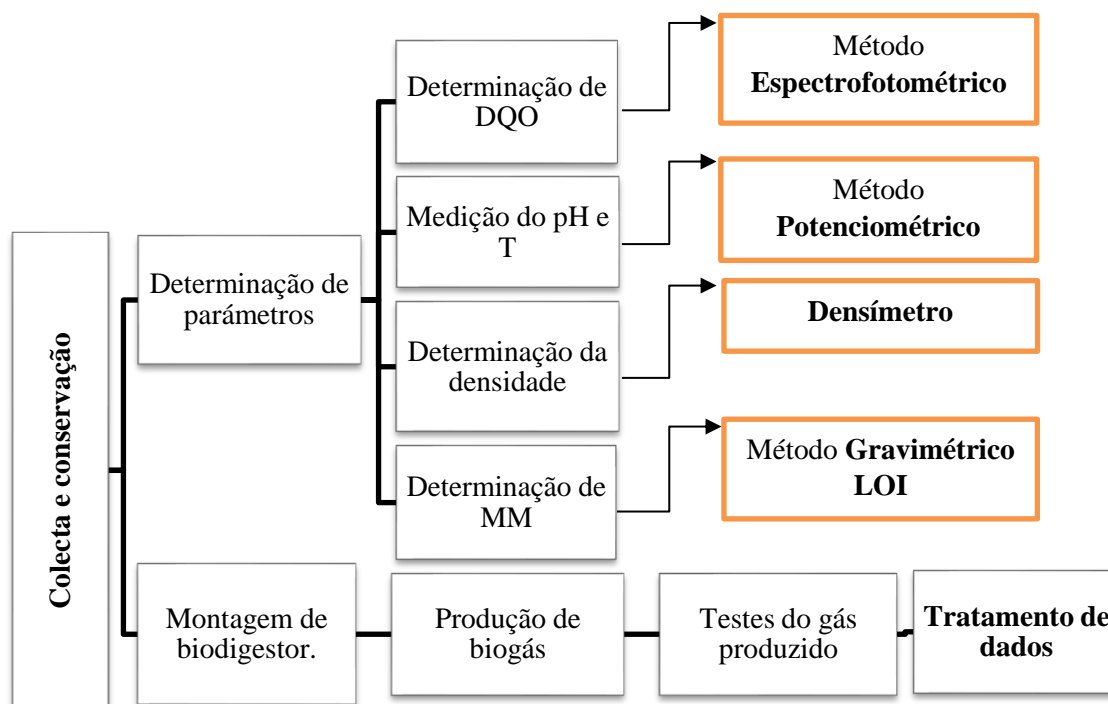


Figura 4: Desenho Experimental

3.7. Descrição do trabalho experimental

Nesta fase são apresentados todos aspectos relevantes à fase de trabalho de laboratório e os procedimentos seguidos na aplicação de cada técnica de análise.

3.7.1. Experiência 1: Determinação do pH da Levedura e Bagaço

A determinação do pH foi feita recorrendo-se ao equipamento Metrohm (HI-1270) pH Metro. Primeiro, foram homogeneizadas as amostras de levedura e bagaço nos recipientes de conservação, onde foram retiradas algumas alíquotas (100mL) para preencher dois

copos de Bécker de 200 mL de volume e 50 mL de água em ambos copos. Seguidamente, introduziu-se o elétrico do pH Metro para medir a acidez, sem tocar a parte sedimentada.

As figuras a seguir ilustram o decurso experimental desta determinação.

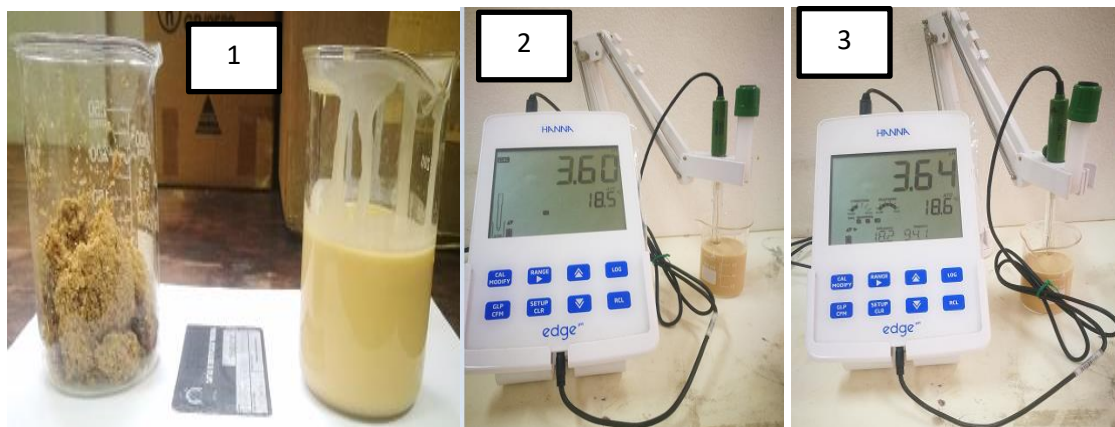


Figura 5: Determinação de pH

Legenda: 1-Beckers contendo amostras; 2- Determinação de pH em levedura; 3-Determinação de pH em Bagaço

3.7.2. Experiência 2: Determinação da densidade

A densidade das duas amostras foi determinada com auxílio de uma proveta, através da introdução de um densímetro na proveta contendo as amostras. O valor correspondente foi obtido através da leitura.

A Figura 6 ilustra o procedimento laboratorial da determinação da densidade:



Figura 6: Determinação da densidade

Legenda: 1- Proveta contendo amostra e densímetro; 2- Balança analítica contendo proveta com amostra.

3.7.3. Experiência 3: Determinação do teor de Matéria Mineral (ST; SF; SV)

A quantidade de sólidos voláteis (SV), dá-nos uma ideia da biomassa activa existente no inóculo.

As determinações de ST e SV e SF foram realizadas seguindo o método gravimétrico Loss-of-Ignition (LOI) apresentado por ABNT/NBR 10664 (1989) citado por VASCONCELOS & BOANE (2021).

O diagrama (02), ilustra os procedimentos da análise de matéria mineral seguidos, com base no método LOI:

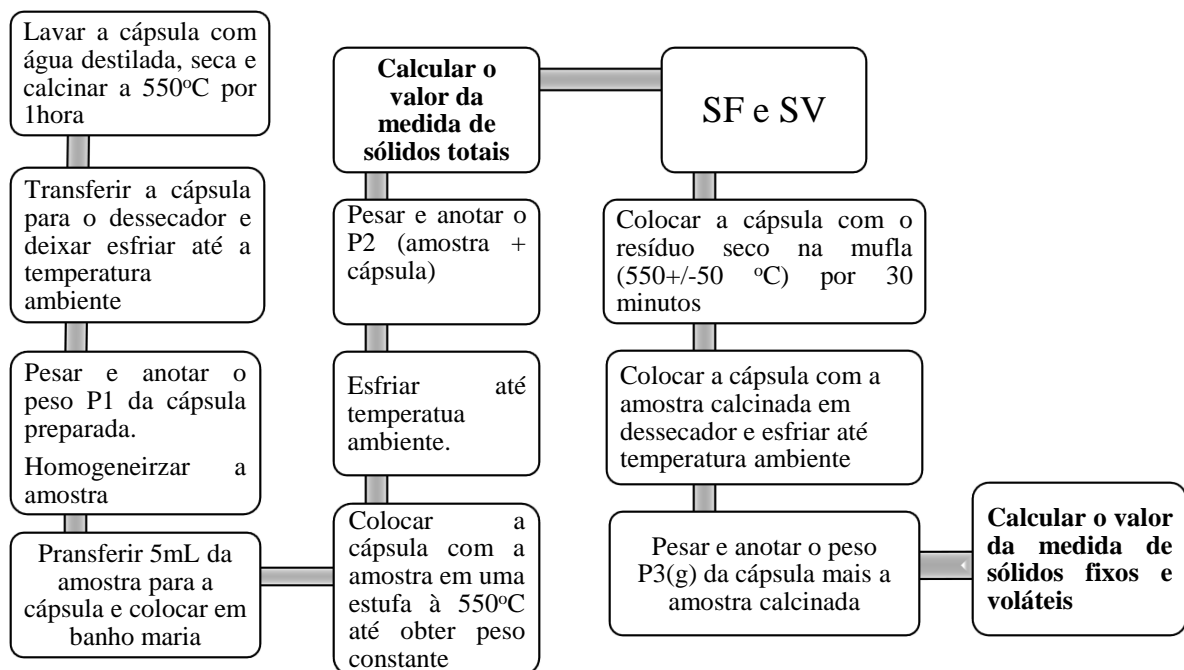


Figura 7: Fluxograma da determinação de MM

Fonte: VASCONCELOS & BOANE (2021)

A Figura a seguir contém o resumo da análise de matéria mineral no substrato.

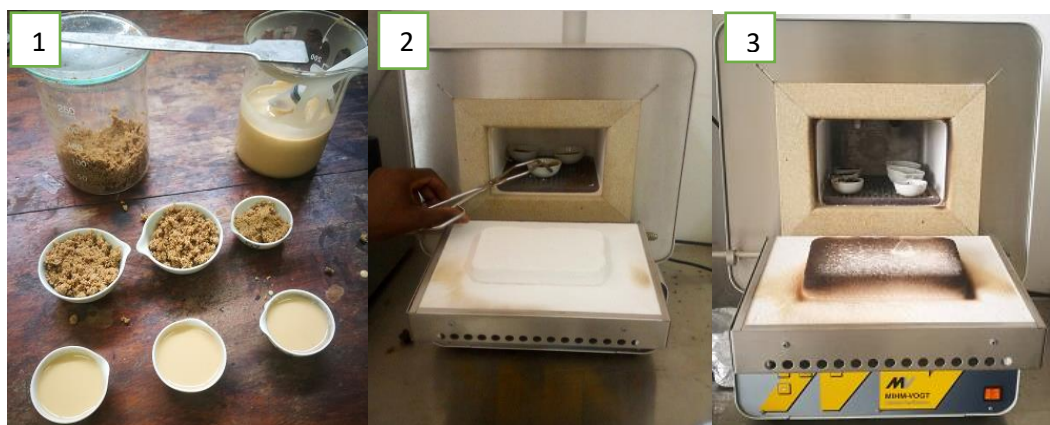


Figura 8: Análise de MM no Substrato

Legenda: 1- Adição de amostras em cadinhos; 2- Introdução de amostras na mufla das amostras; 3- Retirada das amostras da mufla.

Na tabela 2 a seguir, estão descritos os parâmetros, as condições e as fórmulas usadas nas determinações de matéria mineral.

Tabela 2: Determinação de ST, SV, SF

Parâmetros	Condições de análise	Quantidade da amostra(g)	Fórmula de cálculo
ST	80 °C/1H e 550°C/ 1h	20g – Bg; 6mL-Lv	$ST(\text{mg/L}) = \frac{P1 - P0}{\text{vol. amostra(L)}} * 1000$
SF	80 °C/1H e 550°C/ 30min	20g – Bg; 6mL-Lv	$SF(\text{mg/L}) = \frac{P2 - P0}{\text{vol. amostra(L)}} * 1000$
SV	80 °C/1H e 550°C/ 1d	20g – Bg; 6mL-Lv	$SV(\text{mg/L}) = ST - SF$

FONTE: Adaptado de VASCONCELOS & BOANE (2021)

Legenda: Lv-Levedura; Bg- Bagaço; P0 = Tara da cápsula (g) P1 = Cápsula com amostra após secagem (g) P2 = Cápsula com amostra após calcinação (g) vol. am = Volume da amostra (mL). ST-Sólidos Totais, SF-Sólidos Fixos, SV-Sólidos Voláteis;

3.7.4. Experiência 4: Demanda Química de Oxigênio

A demanda química foi determinada baseando-se na relação entre os valores da absorvância lidos pelo aparelho e aplicados na curva de calibração para achar a concentração e por fim multiplicar por 1000, que é o factor de conversão.

A Figura 8 ilustra o procedimento experimental desta medição.



Figura 9: Determinação de DQO

Legenda: 1- Tubos de ensaios acoplados a um tubo de alongamento; 2-baloes de fundo chato contendo amostras por analisar no espectrofotômetro UV-vis; 3- Determinação espectrofotométrica.

3.7.5. Experiência 5: Montagem dos BDs usados na DA

Os protótipos usados na biodigestão, consistem em três vasilhas de garrafas de 18.9 L de capacidade, três válvulas de retenção (PVC) 3/4/2, 3 mangueiras condutoras de gás, três câmaras de ar para coleta de gases, três curvas de 1 polegada. O sistema foi montado acoplado as curvas na abertura superior das vasilhas e acoplado as mangueiras.



Figura 10: Modelo de Biodigestores usados na DA

3.7.6. Mistura de resíduos

O substrato e o inóculo foram submetidos ao processo de estabilização através da adição de Hidróxido de sódio e leite fresco, respectivamente. A digestão foi realizada em três biodigestores.

Tabela 3: Dimensionamento dos Biodigestores e Substratos

Ensaio	Volume de Lv+ inóculo	Volume de Bg+Inóculo	Massa de Bg +Lv+ inóculo
1	14 L	14 L	+/- 10 em V/V + 2 L

3.7.7. Experiência 7: Ensaio de Digestão e Co-digestão Anaeróbia

Na figura abaixo é apresentado o esquema usado nos ensaios de biodegradação.

**Figura 11:** Ensaio de biodegradação anaeróbica

Legenda: 1-BD1: **Bg + Lv + Inóculo**; 2-BD2: **Lv + inóculo**; 3- BD3: **Bg + inóculo**

3.7.8. Experiência 8: Análise da qualidade de biogás

A qualidade do gás gerado durante o TRH foi avaliada desde a primeira semana da alimentação dos BD's. Entretanto, do monitoramento feito constatou-se que houve produção de um gás não combustível e com capacidade de extinguir a chama empregada nos testes em questão. Depois dos 70 de TRH fez-se igualmente a avaliação da composição do gás contido nas câmaras e possuía as mesmas propriedades que o inicial.

CAPÍTULO IV

4.0. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Este capítulo está dividido em três etapas que correspondem a: Caracterização física das amostras de Bg e Lv, determinação de MM, DQO a terceira etapa onde constam os resultados da análise das variáveis do processo de biodigestão e a última etapa corresponde aos resultados da caracterização do biogás produzido e determinação do rendimento.

4.1. RESULTADOS DA CARACTERIZAÇÃO FÍSICA

4.1.1. Resultados da Determinação do pH e Densidade

A tabela abaixo contém, os dados da determinação do pH e da Densidade de acordo com os métodos referidos na parte experimental.

O potencial redox constitui um dos parâmetros com a resposta mais rápida face a uma situação de instabilidade no digestor, como acumulação de ácidos ou a variação do pH. Para além disso, é um indicador da manutenção das condições de anaerobiose indispensáveis à actividade das bactérias envolvidas em todo o processo de DA do início ao fim do processo.

Tabela 4: Resultados da determinação de pH, Massa volúmica

Resíduo	Massa volúmica 1	pH 1	pH 2
Efluente BD1	0.90 g/cm ³	3.60	6.8
Efluente BD2	0,90 g/cm ³	3.60	6.8
Efluente BD3	0.94 g/cm ³	3.64	6.8

Nestas determinações foram usados métodos instrumentais devido a sua elevada precisão para os testes em que foram empregues. Dos valores obtidos constatou-se que, tanto a levedura bem como o bagaço possuíam baixos valores de pH, o que equivale a um ambiente ácido que não favorece ao desenvolvimento de bactérias.

De acordo com Vasconcelos & Boane, (2021) citando Kores *et al.*, (2013), e Pires (2015) relatam que, “em digestores anaeróbicos a faixa de operação está entre pH 6,0 a 8,0, sendo que o ponto ideal se encontra em pH 7,0”. No entanto, o valor encontrado está muito

distante do valor indicado pelos autores acima citados, o que ditou a necessidade de tratar a biomassa antes da alimentação dos BD's.

Para efectuar a estabilização do pH recorreu-se a adição de NaOH a 10M numa proporção de 10 ml para cada 15 L de biomassa. Esta quantidade de solução básica garantiu o incremento do valor de pH para 6,8; estando assim, mais próximo do pH ideal.

De referir que, nas condições em que são descartados estes dois tipos de resíduos não possuem condições para uso como substrato para a biodegradação anaeróbica, por isso há necessidade da sua estabilização. Com base nos dados obtidos, o Bg revelou ser mais ideal para o uso como substrato comparativamente à levedura.

Na avaliação da massa volúmica do afluente e efluentes do processo de biodigestão, revelou-se crescimento dos valores da densidade devido a solubilização da biomassa durante o TRH registado. O BD1 registou maior valor de massa volúmica devido à elevada carga orgânica que continha, o que contribuiu no incremento do rendimento.

De acordo com Igoni (2008), a carga orgânica fornecida durante a alimentação do digestor depende da composição do resíduo no afluente, desempenhando um papel determinante na cinética das reacções durante o processo de DA sendo previsível uma recuperação lenta do processo em consequência da aplicação de uma sobrecarga orgânica, podendo resultar na acumulação de AGV e na redução do pH.

No estudo realizado por Silveira (2009) constatou-se que, as fortes oscilações que se verificam em ambos os parâmetros a partir do 49º dia deveram-se ao facto de, a partir desse dia, ter-se deixado de alimentar o digestor aos fins-de-semana, o que provocou uma variação nos valores do TRH e da carga orgânica volúmica.

O facto descrito pelo autor acima citado justifica o elevado TRH que se observou no presente trabalho. Embora, neste trabalho tenha-se trabalhado em um único regime (descontínuo), é notável que pela natureza da biomassa em estudo houvesse comportamento similar nas variações de TRH e de volume.

Os dados recolhidos no local de amostragem indicam que antes do descarte faz-se o espessamento da Lv através da decomposição térmica a 50°C como forma de eliminar bactérias e o Bg não é submetido pelo facto de ser gerado à altas temperaturas.

Disto, percebe-se que a má qualidade dos substratos deve-se ao processo de estabilização através do espessamento, pois, as bactérias hidrolíticas responsáveis pelo processo inicial ou arranque da DA são sensíveis às alterações bruscas de T.

Assim, o processo inicia-se na gama psicrófila e depois com a diminuição da T chega a gama mesófila interferindo na adaptação das bactérias e modificando a sua estrutura bem como perda de SV pelo aquecimento em que o Bg e Lv são submetidos.

4.1.2. Resultados da Determinação de MM (ST, SV e SF)

Na tabela 5 são apresentados os dados relativos à variação das concentrações das várias fracções de sólidos analisados no afluente do digestor, durante o período experimental, bem como a sua eficiência de remoção de acordo com cada tipo de parâmetro que se analisou.

Tabela 5: Resultados da determinação de MM

Levedura	Bagaço
$ST = \frac{P2 - P1}{VOL.AMO} * 1000.000$	$ST = \frac{P2 - P1}{Ma.am} * 1000$
$ST = \frac{17.321 - 12.830}{0.006L} * 1000$	$ST = \frac{23.138 - 8.656}{20g} * 1000$
ST=748 500 mg/ml	ST=724.1 mg
$SF = \frac{P3 - P1}{VOL.AMO} * 1000$	$SF = \frac{P3 - P1}{Ma.am} * 1000$
$SF = \frac{17.012 - 12.830}{0.006L} * 1000$	$SF = \frac{14.83 - 8.656}{20g} * 1000$
SF=697 000 mg/ml	SF=308.7 mg
$Sv = ST - Sf$	$Sv = ST - Sf$
SV=748 500-697 000	SV=724.1-308.7
SV=51 500 mg/ml	SV=415.4 mg

Através da análise da tabela 5, relativa à concentração de ST, SF e SV pode-se verificar que em ambos substratos tem elevada concentração dos parâmetros descritos. Os sólidos voláteis são fermentados para produzir o biogás, daí a importância e necessidade de saber qual a concentração dos mesmos, se possível (VASCONCELOS & BOANE, 2021).

Segundo Medeiros (2014) *apud* Vasconcelos & Boane (2021) que, “quanto maior a concentração de sólidos voláteis na biomassa, maior será a produção de gás, lembrando que isso também dependerá da eficiência do sistema digestor”.

No estudo realizado por Silveira (2009) avaliando a MM em levedura do pão constatou que, ao longo dos 95 dias de operação do digestor, a concentração de ST no efluente variou de 16,5 até 40 g/l. Este valor, operacionalizado nos dá uma relação de 40000 mg/ml e é abaixo do valor encontrado na levedura usada na indústria cervejeira em estudo.

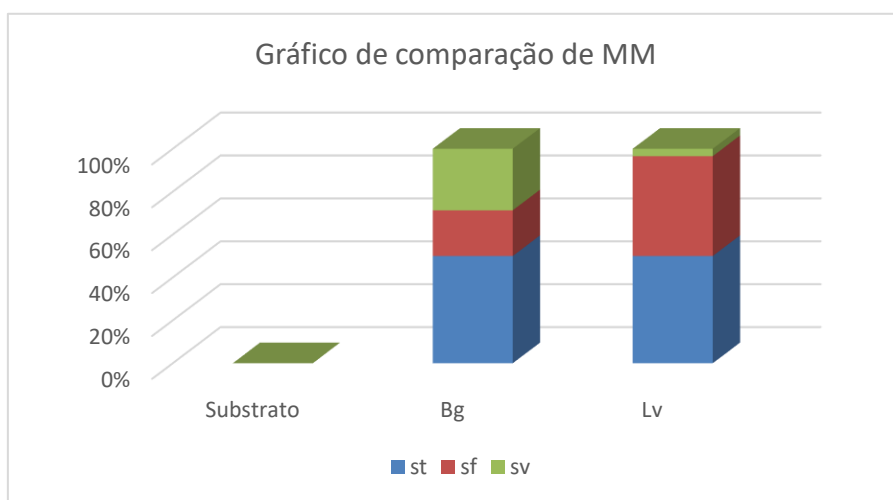


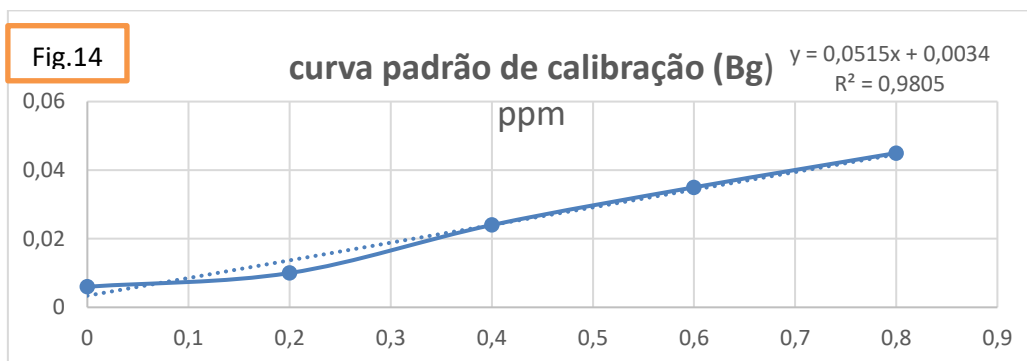
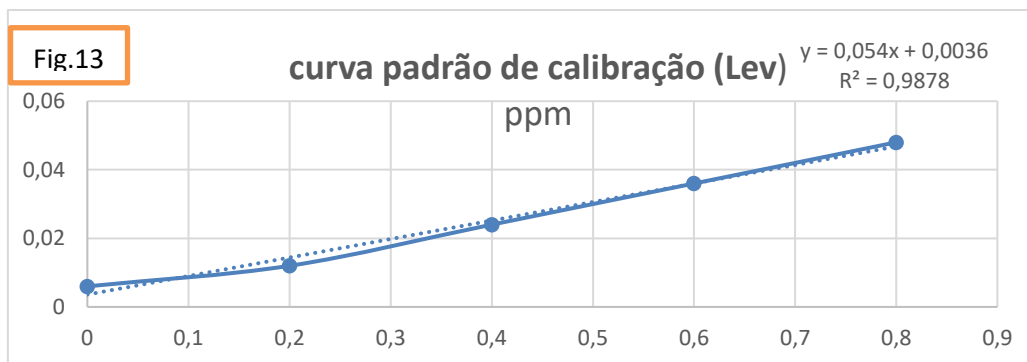
Figura 12: Gráfico da variação de TS, SV e SF em Bg e Lv

De acordo com Pinto, (2000) e Vasconcelos & Boane (2021), “quanto maior a concentração de sólidos voláteis na biomassa, maior será a produção de gás”.

Avaliando os dados da figura 11, tem-se: 6,88% SV de Lv e 57.36% de Bg.

4.1.3. Resultados da Determinação da DQO

As figuras a seguir representam as curvas de calibração obtidas na determinação da DQO em ppm.



Legenda: **Figura 13** - Determinação de DQO em Lev.

Figura 14 - Determinação de DQO em Bg

A tabela abaixo contém os dados relativos à determinação dos valores correspondentes à DQO de acordo com os valores da absorbância medida pelo aparelho.

Tabela 6: Determinação da concentração da DQO

Dados	Determinação	
$A_{(Lev)} = 0.0045$	Lev	Bg
$A_{(Bg)} = 0.0039$	$y = 0.054x + 0.0036$	$y = 0.0515x + 0.0034$
	$0.0045 - 0.0036 = 0.054x$	$0.0039 - 0.0034 = 0.0515x$
	$x = 0.0166$	$x = 0.0097$
	$x = 16.66 \text{ mg/L de DQO}$	$x = 9.70 \text{ mg/L de DQO}$

De acordo com Zhu *et al.*, (2014) os SVs são os sólidos que servem como referência para se prever sobre a eficiência da digestão anaeróbia, uma vez que correspondem à porção passível de ser biodegradada pelos microrganismos e convertida em biogás.

No presente trabalho obteve-se 6,88% SV de Lv e 57.36%SV de Bg indicando que o BD com mostras de Lv ocorriam DA na fase húmida e no BD de Bg ocorria na fase seca, tal como referem Yang *et al.*, (2015) & Zhu *et al.*, (2014) que “de acordo com o teor de sólidos presentes nos digestores, a digestão pode ser classificada em: húmida, quando o teor de sólidos totais é menor que 15%, e seca (ou com alto teor de sólidos), quando o teor de sólidos totais é maior que 15%.”

A análise dos parâmetros CQO e SV fornecem uma boa “primeira impressão” do nível de carga orgânica presente no efluente dos digestores, sendo também um bom indicador da eficiência geral da degradação do substrato (SILVEIRA, 2009). Entretanto, apenas esperava-se maior rendimento em biometano nos BDs carregados com Bg, pela análise dos valores de SV.

Os substratos (Bg e Lv) usados no presente estudo apresentaram baixas concentrações DQO e SV que, são parâmetros fundamentais para uma boa actividade metanogênica das BM's. Deste modo, com o uso de Inoculo esperava-se um incremento na actividade das BM pelo aumento da matéria orgânica degradável nos BD's.

De acordo com Souto (2005) “o uso de inóculo pode ser importante tanto nos estudos sobre fermentação anaeróbica quanto no ponto de partida de reatores”. De referir que, fez a mistura dos dois substratos como forma de alternar a variabilidade das características químicas destes.

A utilização de inóculo é um processo de tratamento conjunto, por meio da digestão anaeróbia, de diferentes tipos de substratos. Devido à variedade nas características físico-químicas dos substratos, a combinação delas permite o aumento da produção de biogás por volume de digestor ocupado.

Para Qasim (1999) “3000 a 30 000 mg/mL” é o intervalo ideal de valores de DQO para uma DA eficaz e com alto rendimento em biogás. Os resultados obtidos, 16.66mg/L de DQO em Lv e 9.70 mg/L de DQO em Bg. Estes resultados são relativamente inferiores e revelam pouca disponibilidade da matéria orgânica degradável em ambos substratos. Este facto está relacionado com a composição destes substratos que, na sua maioria é composta por celulose que é um polímero de difícil degradação, o que de certo modo levou o sistema a logo período de TRH.

Uma outra razão é apontada por Bouallagui *et al.*, (2004) ao afirmar que, “a principal limitação da fermentação anaeróbia se deve à acidificação do meio, provocando diminuição do pH no interior do reator. Isso ocorre em função da grande quantidade de matéria orgânica biodegradável dos inóculos. Além disso, há aumento da produção de ácidos graxos voláteis, com consequente inibição da atividade metanogênica.

4.1.4. Resultados da Análise das Variáveis Temperatura e TRH

a) Variação da Temperatura

O gráfico abaixo contém os dados da variação da temperatura dos biodigestores em função dos dias e meses.

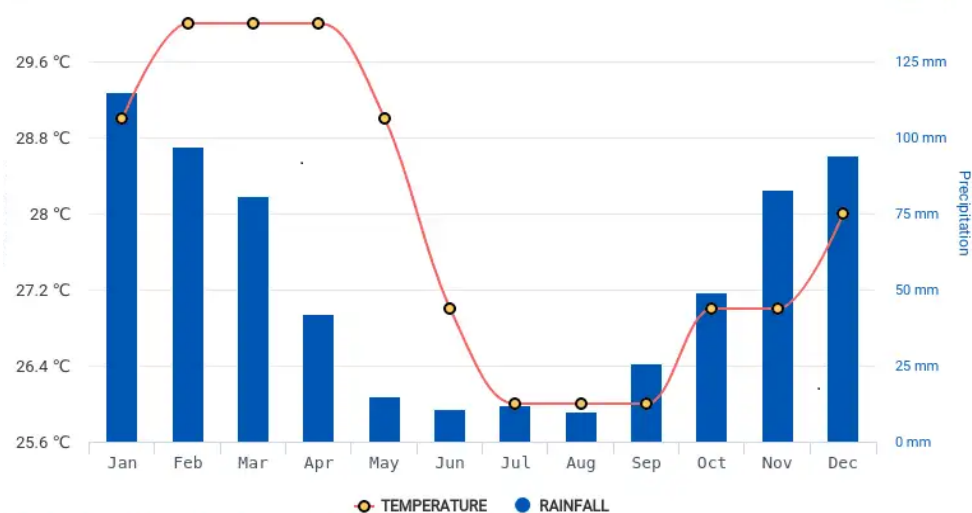


Figura 15: Tendências mensais da variação da temperatura

De acordo com Vasconcelos & Boane (2021) e Araújo (2017) “a fermentação anaeróbica é influenciada diretamente pela temperatura, podendo ser agilizada e, conseqüentemente, diminuindo o tempo de retenção da massa no interior do biodigestor”. Além disso, a percentagem de metano na constituição do biogás é maior quando o processo de fermentação ocorre em temperaturas mais elevadas, o que garante um maior poder calorífico à mistura.

Neste trabalho os BD’s operavam na gama mesofílica, embora com alterações bruscas da temperatura, o que leva à situações críticas no desenvolvimento bacteriano, tal com sustenta Silveira (2014) que, “a ocorrência de choques de temperatura pode afectar de modo significativo o desempenho das bactérias, nomeadamente a sua taxa de

sobrevivência, para além de influenciar o seu crescimento associado à variação da sua actividade metabólica”.

Deste modo, a alteração da temperatura pode provocar um desequilíbrio na população microbiana, que pode resultar na paragem do processo de DA. Para Barreira (2003) “o processo de digestão e gaseificação é altamente acelerado à temperaturas entre 35 e 37°C. Para temperaturas inferiores a 35°C o processo de digestão é menor e, para temperaturas inferiores a 15°C, a produção é muito reduzida, podendo ser cessada”.

O gráfico abaixo ilustra a variação da temperatura durante o mês de janeiro, de acordo com a estimativa da precipitação, que é um factor crucial na avaliação do efeito calor-rendimento.

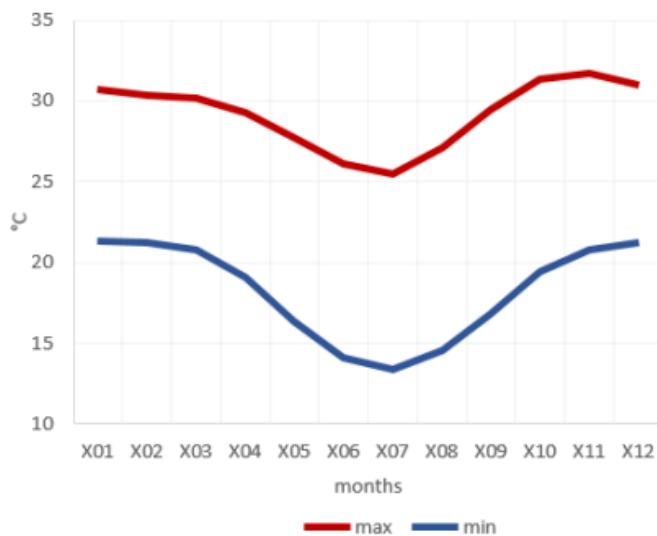


Figura 16: Variação da temperatura durante o mês de janeiro

Fonte: wfp.org.mz-Moçambiqueanálisedoclima

Da avaliação que se faz com relação a temperatura, constata-se que também foi uma variável que influenciou negativamente para o desenvolvimento do processo, pois, no início do processo, os substratos foram submetidos a altas temperaturas para a sua estabilização, o que teve influência na variação da sua composição e na perda de Sv devido a esse processo de decomposição.

b) Tempo de Retenção Hidráulica

Tempo de detenção hidráulica é o tempo que o material permanece no interior do biodigestor, ou seja, tempo entre a entrada do efluente e a saída do afluente do digestor.

De acordo com os diferentes substratos utilizados para a alimentação do biodigestor, e dos demais fatores, o tempo de retenção varia de 4 a 60 dias (FILHO, 1981)

O processo durou 70 dias e dentro deste período não houve geração de Metano, indicando que a biomassa já estava degradada e não mais em condições de geração de gás, pois, de acordo com Kores *et al.*, (2013) recomendam 30-60 dias, pois, as etapas da DA são dependentes do TRH, sendo que maior tempo de residência indicará maior rendimento do processo.

Para o substrato composto de resíduos de matéria orgânica o tempo de detenção situa na faixa de 20 a 30 dias, sendo que com 30 dias a carga orgânica já sofreu grande redução e devido a isso, a produção de biogás já atingiu seu máximo e a partir desse ponto passa a decair (BEUX, 2005)

4.1.5. Resultados da avaliação teórico de produção específica de metano

Na previsão realizada foram utilizados dois métodos, um com base na carência química de oxigênio (COD) e um segundo método baseado na composição elementar. A determinação do rendimento experimental de metano (BMP) foi determinada com base no rendimento de biogás (SBP) e composição de metano no biogás. Neste sentido, é importante avaliar o rendimento máximo possível de atingir com a matéria orgânica adicionada ao sistema, como também com os sólidos convertidos.

Utilizando como referência a informação de que a quantidade equivalente a uma tonelada de sólidos voláteis produz cerca de 400 m³ metano em condições normais de temperatura e pressão (FERREIRA, 2015). Sendo a massa específica do metano 0,717kg/m³, foi possível obter uma aproximação do volume teórico de metano produzido, utilizando a percentagem média de STV (a quantidade em quilogramas de resíduo a ser degradado) correspondendo a 0.00016m³ para Lv e 0.02 m³ de Bg.

Estes dados demonstram baixa capacidade de geração de biogás com base na Lv comparativamente ao Bg. De acordo com Pereira (2013) o processo de DA ficará parado na fase fermentativa (hidrólise e acidogênese), apresentando-se o biogás com uma elevada concentração de CO₂, H₂ e eventualmente H₂S. Também os trabalhos realizados por Liu *et al.* (2009) revelaram resultados que podem justificar a presença de menores

teores de metano em digestores com sobrecarga orgânica, pois, nos seus estudos concluem que a elevada sobrecarga dos BD's conduz à redução da quantidade de metano.

4.1.5.1. Determinação do rendimento com base nos valores de DQO e VS

No trabalho realizado por Vasconcelos & Boane (2021) se propõe a determinação do rendimento médio do biogás com base em valores de VS e DQO consumidos no processo e no biogás, considerando-se como padrão os valores obtidos nos parâmetros equivalentes para todo afluente tomando como base a equação abaixo.

$$\text{BMP}_{\text{DQO}} = n\text{CH}_4 \cdot RT / P \cdot \text{VS}$$

$$n\text{CH}_4 = \text{DQO} / 64 \text{ (g/mol)}$$

Neste estudo, tomou-se como base os valores obtidos na caracterização de Sv (Lv) e Sv (Bg) dos substratos em estudo. Desta relação obteve-se 0.00012 cm³ /g de Lv e 0.0012 cm³ /g de Bg que são relativamente inferiores aos obtidos por Vasconcelos & Boane (2021) avaliando lamas, Deublein *et al.* (2008) avaliando Levedura de pão e Appels *et al.*, (2008) estudando as palhas de milho como substratos na DA.

Deste modo, a biodegradação dos substratos nas condições em que são descartados não revelou ser eficiente para gerar biogás de forma significativa. Sendo que é menos eficiente que os resultados observados por LI *et al.*, (2013), em que a produção específica de biogás citava-se entre 417 e 1142 mL/g SV avaliando a partir de digestão anaeróbia e co-digestão de resíduos de cozinha, palha de milho e estrume de frango.

O estudo foi repetido alterando as condições de dimensionamento dos BDs bem como alterou-se o inóculo. Entretanto, não houve mudança significativa, sendo que não houve produção de biogás de forma significativa.

A figura a seguir ilustra o esquema de produção montado no segundo ensaio de reavaliação do sistema de produção.



Figura 17: Reavaliação do sistema de produção de biogás

Um dos factores que influencia na DA é a existência de escapamento do gás durante o processo, pois, permite a entrada de oxigénio podendo levar a extinção das bactérias anaeróbicas. Este ensaio foi repetido de modo a reduzir as variáveis que possam ter influenciado nos resultados obtidos.

CAPÍTULO V

5.0. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos na análise dos parâmetros estabelecidos neste trabalho, concluímos que:

A biomassa gerada pela produção de cerveja, nas condições em que é descartada não possui todas as características e propriedades-padrão necessárias para geração de biogás;

A digestão anaeróbica usando como substratos a Levedura e Bagaço apresenta baixo rendimento em biogás;

Aplicando pré-tratamentos na biomassa, a geração do Biogás irá contribuir para a execução do modelo de economia circular na fábrica sugerindo boas alternativas para o sistema de gestão de resíduos.

5.1 Propostas

Para os futuros trabalhos na mesma linha de pesquisa recomenda-se a estabilização química dos substratos de modo a garantir que estes possam contribuir no *start up* dos BDs, bem como na melhoria da qualidade dos resultados.

5.2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AZEVEDO, A. M. et al.. *Influência dos locais de cultivo na colheita, produtividade e qualidade da batata doce*. Brasília, Horticultura Brasileira, 2014.
2. BEUX, S. *Avaliação do tratamento de efluentes de abatedouro em biodigestores anaeróbicos de duas fases*. Dissertação de Mestrado em Ciências e Tecnologia de Alimentos, Universidade de Ponta Grossa – UEPG/PR, Ponta Grossa, 2005.
3. BOANE, A. A. & MONJANE, A. M.. *Geração de Bio Hidrogénio a Partir de Resíduos Pecuários*. Tese de Mestrado em Energia e Meio Ambiente. Faculdade de Ciências Naturais e Matemática. Maputo, Universidade Pedagógica de Maputo, 2017
4. BOUALLAGUI, H.; *Two-phases anaerobic digestion of fruit and vegetable wastes: bioreactors performance*. Biochemical Engineering Journal. Rickmanswort, 2004.
5. CARVALHO, L. J. I.. *Avaliação do potencial de produção de biogás a partir de biomassa proveniente de culturas dedicadas e de lamas de ETARI*. Lisboa, Instituto Técnico de Agronomia, 2010.
6. DEUBLEIN, D; e STEINHAUSER, A.. *Biogás e recursos renováveis*. Weinheim-Alemanha: Verlag GmbH & Co. KGaA, 2008.
7. FARIA, D. S. M.. *Análise da evolução do grau de maturação em processos de compostagem*. Tese de mestrado em Engenharia Química. Faculdade de Ciências e Tecnologias – Universidade de Coimbra, 2013
8. FILHO, J. A. C. *Biogás, Independência energética do Pantanal Mato-grossense. Circular técnica*⁹. Corumbá, EMBRAPA, 1981.
9. FONSECA, J. J. S. *Metodologia da pesquisa científica*. Fortaleza: UEC, 2002. Apostila.
10. GIL, A. C. *Como elaborar projetos de pesquisa*. 4. ed. São Paulo, Atlas, 2007.
11. ISO - International Standard Organization. [online] Disponível na Internet via WWW. URL: <https://www.portaldaindustria.com.br/industria-de-a-z/economia-circular/>. Última actualização em 25 de Outubro de 2011.
12. KHALID, A., Arshad et al.. *Digestão anaeróbica de resíduos orgânicos*. Gestão de Resíduos, Vol. XXXI. 2011.
13. LI, Y., PARK, S.Y. e ZHU, J.. *Digestão Anaeróbica de resíduos sólidos para produção de metano*. Energias renováveis e sustentáveis, Washington DC. 2011

14. LUSTOSA, G. N.. *Proposta de um biodigestor anaeróbio modificado para produção de biogás e biofertilizante a partir de resíduos sólidos orgânicos. Monografia de projecto Final em Engenharia.* Universidade de Brasília. Brasil, 2014
15. MENA, I.. *O que é Economia Circular.* [online] Disponível na Internet via WWW. URL <https://www.projetodraft.com/verbete-draft-o-que-e-economia-circular/> Última actualização: 20 de Abril de 2016
16. MARCONI & LAKATOS. *Fundamentos de metodologia científica.* 5a ed. Editora Atlas, São Paulo, 2003.
17. MARSARIOLI M.. *Identificação e Avaliação de Geração de Resíduos em Processo de Produção de Cerveja em Microcervejaria e Proposição de Reutilização.* Dissertação de Mestrado. Universidade do Vale do Taquari, Rio Grande do Sul, 2019
18. MONTORO, S.B.. *Co-digestão de batata doce com dejetos de bovinos leiteiros: uma avaliação técnica e econômica para produção de energia e biofertilizante.* Dissertação de mestrado em Agronomia. Faculdade de ciências agronômicas da Unesp. Butucatu, 2017
19. MOÇO. E.A.. *Projeto de uma unidade produtora de biogás.* Projeto. Escola Superior de Tecnologia de Tomar. Lisboa, 2012
20. MORADO, M. L. M.. “*Avaliação da Biodegradabilidade Anaeróbia de Dejetos Oriundos de Atividades Zootécnicas*”. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia Agrícola. Campinas, Universidade Estadual de Campinas, 2009
21. PALMER, J.. *How to Brew.* Michigan, Brewers Publications, 2006
22. PASSARELLI, E.. *O elemento-base da cerveja.* Revista Beerlife. n.3, Dez. 2008
23. PEREIRA, A. I. C.. *Codigestão anaeróbia de resíduos verdes e lamas de ETAR para produção de biogás.* Lisboa, Faculdade de ciências e tecnologias, 2013
24. PIRES, M. P.. *Análise da eficiência do processo de digestão anaeróbia de lamas da ETAR municipal do Choupal,* Coimbra, Universidade de Coimbra, Setembro, 2015.
25. PNCT, *Economia Circular.* [online] Disponível na Internet via WWW. URL: https://www.fct.pt/agendastematicas/docs/economia_circular.pdf Última actualização: Julho de 2017
26. QASIM, S.. *Wastewater treatment plants: planning, design, and operation,* CRC Press, 2a edição, Washington DC, 1999
27. SANTOS, J. F. S.. *Metodologia de tratamento de lamas e organização do balanço de massas.* ISEL. Junho, 2012.

28. SILVEIRA, G. S.. *Estudo De Co-Digestão Anaeróbia De Lamas Domésticas Com O Efluente Da Indústria Da Fermentação Da Levedura Do Pão Da Empresa Mauri Fermentos*. Lisboa, Universidade Nova de Lisboa, 2009
29. TAIMO, E. & BOANE, A. A.. *Avaliação do Potencial Bioenergético da Biomassa Pecuária: Um Estudo Comparativo Entre Excremento Bovino e Suíno*. Tese de Licenciatura em Ensino de Química. Faculdade de Ciências Naturais e Matemática. Maputo, Universidade Pedagógica de Maputo, 2021.
30. TRIVIÑOS, A. N. S.. *Introdução à Pesquisa em Ciências Sociais: a Pesquisa qualitativa em educação*. São Paulo, Atlas, 1987.
31. VASCONCELOS, C. P. & BOANE A. A.. *Avaliação do Potencial Bioenergético das Lamas da ETA do Umbeluzi*. Tese de Licenciatura em Ensino de Química. Faculdade de Ciências Naturais e Matemática. Maputo, Universidade Pedagógica de Maputo, 2021
32. VERONEZE, M.L.. *Avaliação da produção de biogás a partir de água residuária de cervejaria*. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2019.
33. WELLINGER, A. & LINDBERG, A.. *Biogas upgrading and utilization, IEA Bioenergy – Task 24: Energy from biological conversion of organic waste*, 2000
34. ZHANG, Y., Banks, C. J. e Heaven, S. *Anaerobic digestion of two biodegradable municipal waste streams*. Journal of Environmental Management, 2012
35. ZHU, N.M., Qiang-Li, e Guo, X.J.. *Hui-Zhang, Sequential extraction of anaerobic digestate sludge for the determination of partitioning of heavy metals*. Ecotoxicology and Environmental Safety. Yu-Deng, 2014