



**INSTITUTO FEDERAL DE ALAGOAS - IFAL
CAMPUS MACEIÓ
ESPECIALIZAÇÃO EM DOCÊNCIA EM EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E
TECNOLÓGICA**

GEORGIA NAYANE SILVA BELO GOIS

**RESÍDUOS AGRÍCOLAS E AGROINDUSTRIAIS NA GERAÇÃO DE BIOGÁS:
desenvolvimento de um roteiro experimental.**

**MACEIÓ, AL
2023**

GEORGIA NAYANE SILVA BELO GOIS

RESÍDUOS AGRÍCOLAS E AGROINDUSTRIAIS NA GERAÇÃO DE BIOGÁS:
desenvolvimento de um roteiro experimental.

Trabalho final de curso apresentado ao Instituto Federal de Alagoas, polo Maceió, como requisito final para obtenção da formação de especialista em Docência em Educação Profissional e Tecnológica.

Orientadora: Prof. Dra. Valéria Alves Montes

MACEIÓ, AL
2023



Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Instituto Federal de Alagoas
Campus Maceió
Biblioteca Benevides Monte

370.11
G616r

Gois, Georgia Nayane Silva Belo.

Resíduos agrícolas e agroindustriais na geração de biogás :
desenvolvimento de um roteiro experimental / Georgia Nayane Silva Belo
Gois. – Maceió, 2023.

24 f. : il., color.

Orientação: Profa. Dra. Valéria Alves Montes.

Trabalho de Conclusão de Curso – Artigo (Especialização em
Docência em Educação Profissional e Tecnológica) – Instituto Federal de
Alagoas, EAD/UAB, Polo Maceió. Maceió, 2023.

Arquivo no formato digital em PDF.

1. Educação Profissional e Tecnológica – Docência. 2. Biogás –
Produção. 3. Resíduos agrícolas e agroindustriais. I. Título.

Franciane Monick Gomes de França
Bibliotecária – CRB 4/1831

FOLHA DE APROVAÇÃO


GEORGIA NAYANE SILVA BELO GOIS

RESÍDUOS AGRÍCOLAS E AGROINDUSTRIAIS NA GERAÇÃO DE BIOGÁS:
desenvolvimento de um roteiro experimental.

Trabalho Final de Curso elaborado como requisito final para obtenção do título de especialista em Educação Profissional e Tecnológica – EPT, campus Maceió – AL, e aprovado pela banca examinadora.


Maceió, 26 de dezembro de 2023.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 VALERIA ALVES MONTES
Data: 22/02/2024 11:37:23-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


Prof^a. Dr^a. Valéria Alves Montes (Orientadora)

Instituto Federal de Alagoas – IFAL

Documento assinado digitalmente
 ADRIANA THIARA DE OLIVEIRA SILVA
Data: 23/02/2024 10:05:14-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof Dra Adriana Thiara Oliveira

Instituto Federal de Alagoas – IFAL

Documento assinado digitalmente
 ROGERIO DE ALENCAR GOUVEIA
Data: 22/02/2024 16:31:25-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof Msc. Rogério de Alencar Gouveia

Instituto Federal de Alagoas – IFAL

RESUMO

A preocupação com as questões ambientais tem se tornado cada vez mais nítida, levando à procura por novas tecnologias limpas e sustentáveis. Devido a isto, sobressaem os estudos por fontes energéticas renováveis, tendo a produção de biogás como representante de destaque em fonte renovável no país. Ganha destaque, os resíduos agrícolas, tais como, cascas, caldos e fibras como também efluentes da produção animal bovinos, suínos, aves, a conjugação pode representar uma fonte de matéria-prima favorável para o processo de digestão anaeróbia. Nesse contexto, surgem estudos sobre uma promissora alternativa para aumentar a produção de fonte de energia limpa, a produção de biogás a partir de processos anaeróbios. Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi realizar um estudo bibliográfico sobre a utilização dos resíduos agrícolas (dejetos suínos) e agroindustriais (vinhaça) na produção de biogás, explorando as bases conceituais que fundamentam o estudo, em busca de esclarecimentos, consensos, divergências e lacunas. Por fim, um roteiro foi elaborado, com o intuito de capacitar os alunos do curso técnico de meio ambiente para o desenvolvimento da produção do biogás.

Palavra-Chave: resíduos, cana-de-açúcar, dejetos suínos, biogás.

ABSTRACT

Concern about environmental issues has become increasingly clear, leading to the search for new clean and sustainable technologies. Due to this, studies on renewable energy sources stand out, with biogas production as a prominent representative of a renewable source in the country. Agricultural waste stands out, such as peels, juices and fibers as well as effluents from animal production, cattle, pigs and poultry. The combination can represent a source of favorable raw material for the anaerobic digestion process. In this context, studies are emerging on a promising alternative to increase the production of a clean energy source, the production of biogas from anaerobic processes. In view of the above, the objective of this work was to carry out a bibliographical study on the use of agricultural and agro-industrial residues in the production of biogas, exploring the conceptual bases that underlie the study, in search of clarifications, consensus, divergences and gaps. Finally, a roadmap was prepared, with the aim of training students on the environmental technical course to develop biogas production.

Keyword: waste, sugar cane, Pig waste, biogas.

1. INTRODUÇÃO

A crescente busca por fontes de energia renovável tem impulsionado a investigação e exploração de alternativas sustentáveis para suprir as demandas crescentes por combustíveis fósseis. Nesse contexto, os resíduos agrícolas e agroindustriais emergem como uma fonte promissora de energia, destacando-se pelo seu potencial significativo na geração de biogás. Este cenário promissor enfrenta os desafios relacionados à gestão de resíduos, como também contribui para a diversificação da matriz energética, promovendo práticas mais limpas e sustentáveis.

A transformação de resíduos provenientes da agricultura e da agroindústria em biogás, um combustível composto principalmente por metano, revela-se uma solução ambientalmente amigável e economicamente viável. A decomposição anaeróbica desses resíduos não apenas reduz as emissões de gases de efeito estufa, mas também oferece uma fonte de energia renovável que pode ser integrada de maneira eficaz ao sistema energético global.

A vinhaça de cana-de-açúcar e os dejetos suínos são resíduos provenientes de atividades agrícolas e agroindustriais, sendo de grande importância tanto para a gestão ambiental quanto para a geração de energia por meio da produção de biogás. Ambos os resíduos possuem características distintas, mas compartilham o potencial de serem transformados em fontes valiosas de energia renovável, contribuindo para a transição para uma matriz energética mais sustentável.

Os principais bioprocessos que produzem bioenergia ou compostos bioquímicos enquanto tratam resíduos, são: a digestão anaeróbia metanogênica, a produção biológica de hidrogênio, as células a combustível microbianas e a fermentação para a produção de compostos com valor agregado associado.

O delineamento bibliográfico realizado sobre o potencial energético dos resíduos agrícolas e agroindustriais, destacando os benefícios do reaproveitamento associados à geração de biogás. Além disso, avalia a produção de biogás via digestão anaeróbia práticas inovadoras que está sendo desenvolvidas para otimizar a produção de biogás a partir desses resíduos, impulsionando assim uma transição mais sustentável e resiliente no setor energético.

O objetivo desse estudo, foi desenvolver um roteiro experimental para os alunos do curso técnico de meio ambiente, que visa oferecer uma abordagem prática para explorar o potencial energético dos resíduos agrícolas e agroindustriais na geração de biogás.

2. OBJETIVOS

2.1 GERAL

Desenvolver um roteiro experimental para produção de biogás a partir da digestão anaeróbia com intuito de aplicar nas aulas práticas do curso técnico em meio ambiente.

2.2 ESPECÍFICOS

- Fazer um levantamento bibliográfico dos resíduos: cana de açúcar e efluente de suinocultura na produção de biogás;
- Descrever as rotas metabólicas da digestão anaeróbia;
- Desenvolver um roteiro experimental para produção de biogás a partir da digestão anaeróbia.

3. METODOLOGIA

A metodologia empregada consistiu em uma revisão bibliográfica, na qual foram apresentados conceitos fundamentais para contextualizar e embasar o estudo.

Trata-se de um estudo no qual foi baseado em uma revisão integrativa da literatura. Deste modo, foi elencadas as bases de dados a serem pesquisadas, via internet, e os respectivos mecanismos de buscas. As publicações foram pesquisadas nas seguintes bases de dados: Google Acadêmico, Periódicos Capes e Scielo.

Foram utilizados os seguintes descritores: vinhaça de cana-de-açúcar; efluente de suinocultura; digestão anaeróbia; biogás. Os critérios de inclusão adotados para seleção dos estudos são: artigos originais, disponíveis na íntegra, publicados entre os anos de 2018 a 2023, nos idiomas português, inglês e espanhol. Num universo de 25 artigos, os quais foram utilizados para a descrição dos tópicos a seguir.

Realizar uma revisão da literatura implica explorar as bases conceituais que fundamentam a área de estudo, em busca de esclarecimentos, consensos, divergências e lacunas. Nesse sentido, os estudos bibliométricos emergem como ferramentas essenciais para o progresso científico, permitindo analisar a evolução de um determinado campo, identificar autores proeminentes, destacar artigos, periódicos e instituições relevantes (PARÉ et al., 2015).

4. DESENVOLVIMENTO

4.1. BIOGÁS COMO FONTE DE ENERGIA

O biogás é gerado basicamente pela decomposição natural do material orgânico, ou seja, através de processos biológicos, tendo como componentes o hidrogênio, o metano, o dióxido de carbono e o gás nitrogênio, sendo a maior parte composta por metano cerca de 40 a 60% e a menor por concentrações do gás nitrogênio. Classificados como impurezas, os gases CO₂, H₂S e NH₃, quando em altas concentrações interferem negativamente na qualidade do biogás. O CO₂, por exemplo, diminui o poder calorífico do biogás, enquanto o H₂S exala um odor desagradável e torna o biogás corrosivo para os materiais metálicos (De FARIAS SILVA et al., 2019).

Por meio da digestão anaeróbia, a matéria orgânica utilizada como substrato, além de ser convertida em biogás tem seu potencial poluidor reduzido significativamente, implicando no tratamento do efluente, quando for o caso, na produção de energia e de um digestato ainda rico em nutrientes, podendo ser reaproveitado, por exemplo, como suplementação nutricional em solos pobres em nutrientes (SIDDIQUE; WAHID, 2018).

Além do substrato, existem outros fatores importantes para produção de metano via digestão anaeróbia, dentre eles o pH, inóculo, temperatura, tipo de reator e a junção de cossustratos. Com isso, a digestão de dois ou mais substratos tem sido aplicada para potencializar a produção de biogás e balancear as desvantagens da utilização da monodigestão (MATAALVAREZ et al., 2014).

A biomassa derivada de fontes lignocelulósica podem ser aplicadas para geração de energia, pois apresentam as maiores fontes de matéria-prima para gerar energia (RAMOS-SUARÉZ et al., 2017). Apesar do seu alto potencial para fins fermentativos, sua estrutura possui grande resistência à hidrólise, ocasionando, instabilidade do sistema operacional e difícil biodegradabilidade, sendo necessário realizar algum tipo de pré-tratamento (YANG et al., 2015).

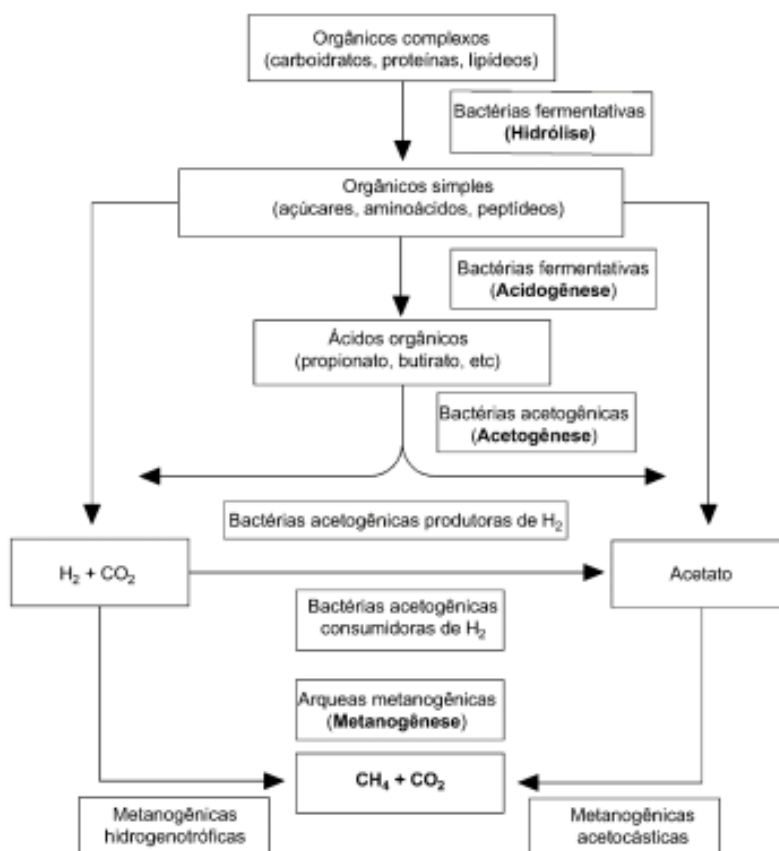
Alguns autores avaliaram a utilização dos resíduos agrícolas/agroindustriais para a produção separada de hidrogênio e metano, a seguir iremos discutir melhor cada rota metabólica e quais os principais parâmetros que interferem na digestão anaeróbia.

4.2. PRODUÇÃO DE METANO VIA DIGESTÃO ANAERÓBIA

Estudos apontam a digestão anaeróbia como uma promissora alternativa para o tratamento e adequação de resíduos orgânicos agroindustriais, utilizando-os como fontes renováveis para geração de energia, como também contribui com a redução da disposição inadequadas e as emissões de carbono. Além disso, ajuda a atenuar a produção energética oriunda de combustíveis fósseis e promove a redução de impactos ambientais (WU et al., 2021a; WU et al., 2019).

No processo de digestão anaeróbia (DA), o tratamento dos resíduos resulta na produção de biogás e biofertilizante, que são subprodutos de valor econômico. Assim, a DA se torna uma opção interessante para o tratamento de resíduos agrícolas (SILVA et al., 2013). Este processo ocorre de forma anaeróbia, ou seja, na ausência de oxigênio, e pode ser descrito como um conjunto de reações ocorrendo simultaneamente através da ação microbiana e compreende cinco etapas principais: hidrólise, acidogênese, acetogênese, sulfetogênese e metanogênese (McCarty, 1964) (Figura 2).

Figura 1: Processos da digestão anaeróbia e rotas metabólicas envolvidas.



Fonte: Chernicharo (2019) adaptado de Lettinga et al. (1996).

Na primeira etapa da digestão anaeróbia ocorre a hidrólise, que é um processo onde o material orgânico complexo (polímeros) é transformado em materiais orgânicos dissolvidos mais simples (açúcares, aminoácidos e peptídeos). Nesta etapa, a transformação de materiais particulados em materiais dissolvidos só é possível pela ação de exoenzimas excretadas pelas bactérias fermentativas hidrolíticas. Entre as bactérias com capacidade hidrolítica, podem-se citar os gêneros *Clostridium*, *Micrococcus*, *Staphylococcus*, *Bacteroides*, *Butyvirbio*, *Bacillus*, *Acetivibrio* e *Eubacterium* (PARKIN; OWEN, 1986; DAS; VEZIROGLU, 2001).

Na etapa de acidogênese, grande parte dos microrganismos fermenta açúcares, aminoácidos e ácidos graxos resultantes da hidrólise do material orgânico complexo, produzindo ácidos orgânicos (principalmente os ácidos acético, propiônico e butírico), alcoóis (etanol), cetonas (acetona), dióxido de carbono e hidrogênio. Os microrganismos fermentativos são os primeiros a atuar na etapa sequencial de degradação do substrato e, devido a isto, bactérias acidogênicas possuem um tempo mínimo de geração de aproximadamente 30 min e as mais elevadas taxas de crescimento microbiano. A etapa acidogênica só será limitante ao processo se o material a ser degradado não for facilmente hidrolisado (AQUINO; CHERNICHARO, 2005).

Os microrganismos sintróficos acetogênicos convertem compostos orgânicos intermediários da etapa anterior em acetato, hidrogênio e dióxido de carbono. São assim denominados pelo fato de sua existência depender da atividade de microrganismos consumidores de hidrogênio. As reações acetogênicas não são termodinamicamente favoráveis nas condições padrão, mas ocorrem espontaneamente em reatores anaeróbios graças à interação de microrganismos acetogênicos e metanogênicos (AQUINO; CHERNICHARO, 2005).

Na última etapa estão presentes dois grupos de arqueas metanogênicas atuando sobre os produtos gerados nas fases anteriores. As arqueas metanogênicas acetoclásticas são responsáveis pela produção de aproximadamente 70% de metano do processo, possuindo como fonte de energia os ácidos acéticos para produzir metano (CH₄) e gás carbônico (CO₂) através do seu metabolismo. As arqueas metanogênicas hidrogênotróficas produzem cerca de 30% de metano do processo, tendo o hidrogênio como fonte de energia e o gás carbônico (CO₂) como receptor de elétrons, convertendo-se numa maior energia e gerando metano a partir dessa reação (OLIVEIRA; HIGARASHI, 2006).

Para acelerar a digestão anaeróbia dos compostos mais complexos podem ser adotadas condições de concepção de projeto e operacionais do sistema de tratamento para favorecer o processo. Em relação ao projeto, têm-se dois requisitos básicos: (i) o sistema deve manter uma

quantidade máxima de massa de bactérias ativas para atuar no processo de digestão anaeróbia e (ii) é necessário que a superfície de contato entre o material orgânico presente no afluente e a massa bacteriana do sistema seja intensa. Quanto às condições operacionais, os fatores que influenciam são a temperatura, o pH, a presença de nutrientes e a ausência de materiais tóxicos no afluente (SILVA, 2009).

4.3. O POTENCIAL DOS RESÍDUOS AGRÍCOLAS E AGROINDUSTRIAIS PARA PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS

Uma excelente fonte de energia disponível tanto na área rural quanto na agroindustrial é a biomassa. Atualmente sua forma encontra-se nos resíduos vegetais e animais, tais como restos de colheita, esterco animal, plantações energéticas e efluentes agroindustriais. Segundo OBI et al., (2016), a maior parte dos resíduos agrícolas são depositados em lixões ou incinerados, promovendo consequências adversas ao meio ambiente.

São considerados resíduos agrícolas: sobras, resíduos de culturas, resíduos agroindustriais, resíduos de animais e resíduos de alimentos (PATTANAIK et al., 2019). Os resíduos agrícolas mais utilizados na digestão anaeróbia são os de origem animal, principalmente aqueles oriundos da suinocultura e da bovinocultura (MARTINS FILHO et al., 2018). De acordo com Avaci et al., (2013), isso ocorre pelo fato dos dejetos animais já terem passado por um processo de digestão no intestino do animal, o que facilitaria o tratamento.

Além do biogás, o efluente líquido resultante do processo de digestão anaeróbia pode ser aproveitado como biofertilizante. Assim, a digestão anaeróbia é uma opção bastante atrativa no tratamento deste tipo de resíduos, que tem aumentado mundialmente ao longo dos anos, acompanhando o crescimento populacional. Em 2016, foi gerado aproximadamente 2 bilhões de toneladas de resíduos, sendo estimado que 998 milhões de toneladas sejam resíduos agrícolas (AWOGBEMI AND KALLON, 2022).

No caso dos resíduos vegetais, o processo da digestão anaeróbia é dificultado pela presença da lignina, que é um composto de difícil digestão. Assim, torna-se necessário a adoção de algum pré-tratamento desse tipo de resíduo a fim de facilitar a digestão anaeróbia de forma que os microorganismos envolvidos no processo consigam decompor a biomassa de forma mais eficiente e rápida (FERNANDES et al., 2009). Para Tian et al. (2018) a adoção do pré-tratamento do material vegetal facilita a ação dos microrganismos, aumentando os teores de metano na composição do biogás ao final do processo.

O tratamento de efluentes com alto teor de matéria orgânica facilmente degradável (como os resíduos agrícolas, por exemplo) pode resultar em balanço positivo de energia líquida. Muitos bioprocessos podem fornecer bioenergia ou compostos químicos com valor agregado associado e alcançar simultaneamente o objetivo de controle da poluição e recuperação de subprodutos de degradação. A escolha do bioprocessos depende da viabilidade técnica e econômica, simplicidade operacional, demanda social e prioridade política (ANGENENT et al., 2004).

Os principais bioprocessos que produzem bioenergia ou compostos bioquímicos enquanto tratam efluentes industriais e agroindustriais, são: a digestão anaeróbia metanogênica, a produção biológica de hidrogênio, as células a combustível microbianas e a fermentação para a produção de compostos com valor agregado associado.

A VINHAÇA DE CANA-DE-AÇÚCAR

Alguns resíduos provenientes da agroindústria também podem ser utilizados no processo de digestão anaeróbia visando a produção de metano, tal como a vinhaça, água residuárias do processamento da cana-de-açúcar.

A vinhaça é um efluente de alta resistência que possui um conteúdo orgânico 100 vezes maior que o esgoto doméstico, apresenta características ácida e corrosivas e grandes concentrações de macro e micronutrientes (PARSAEE, KIANI DEH KIANI & KARIMI, 2019). Sua aplicação como biofertilizante no cultivo da cana-de-açúcar, suprindo as necessidades do solo em relação a alguns minerais como o potássio, nitrogênio e fósforo, sendo uma alternativa aos fertilizantes sintéticos, principalmente em relação ao fornecimento de potássio (FERRAZ JÚNIOR et al., 2016).

Porém, quando aplicado de forma incorreta e indiscriminada pode resultar em prejuízos ao solo e ao lençol freático, devido à alta carga orgânica e do baixo pH desse resíduo (FUESS E GARCIA, 2014). Assim, a digestão anaeróbia pode ser uma alternativa para a disposição correta da vinhaça, reduzindo sua carga poluidora, além de produzir bioenergia.

No entanto, a viabilidade do uso da vinhaça para a produção biológica de metano em escala real é prejudicada pela disponibilidade deste resíduo está vinculada à safra da cana-de-açúcar, provocando uma falta de continuidade no período de entressafra, o que exige nova partida dos reatores a cada retomada. Alguns autores já relataram dificuldades na retomada a cada safra da cana-de-açúcar de reatores em escala real no tratamento anaeróbio da vinhaça (AGUIAR et al., 2011).

A Tabela 1 apresenta alguns trabalhos que empregaram a vinhaça de cana de açúcar como substrato para produção de hidrogênio/metano através da biodigestão anaeróbia.

Tabela 1: Aplicações da vinhaça na produção de hidrogênio e metano.

Referência	Reator Temperatura	pH TDH	Concentração	HY* HPR*
Júnior Ferraz et al. (2014)	4 reatores de leito fixo (APBR) 55 °C	6,5 24/16/12/8 h	36,2 / 54,3/ 72,4 / 108,6 kg DQO/m ³ d	1,4 mol H ₂ /mol _{carboidrato} 526,8 mL H ₂ /d.L
Lazaro et al (2014)	2 reatores em Batelada 37 °C e 55 °C	-	2 - 12 g DQO/L	1,72 - 2,23 mmol H ₂ /g DQO 2,31 - 0,44 mmol H ₂ /g DQO
Santos et al. (2014)	2 RALFs 55°C	4,87 - 5,06 6/4/2/1 h	15000 - 20000 mg DQO/L	2,23 mmol H ₂ /g DQO 1,49 L H ₂ /h L _{reator}
Referência	Reator Temperatura	pH TDH	Concentração	MPR*
Santana Junior (2013)	2 reatores UASB (R1+R2) 55 °C	6,5 a 7,0 387 d	(7,5 a 12,5) e (6,5 a 11,3) g DQO/L d	0,205 e 0,365 L CH ₄ /Ld
Faria (2014)	UASB (R1+R2) 55 °C	7,3-5,85 16 e 7,5 h	20 e 30 g DQO/L d	0,16 L CH ₄ /Ld

*HY: Rendimento da Produção de Hidrogênio; *HPR: Produção Volumétrica de Hidrogênio.*MPR: Produção Volumétrica de Metano.
Fonte: Autor, 2023.

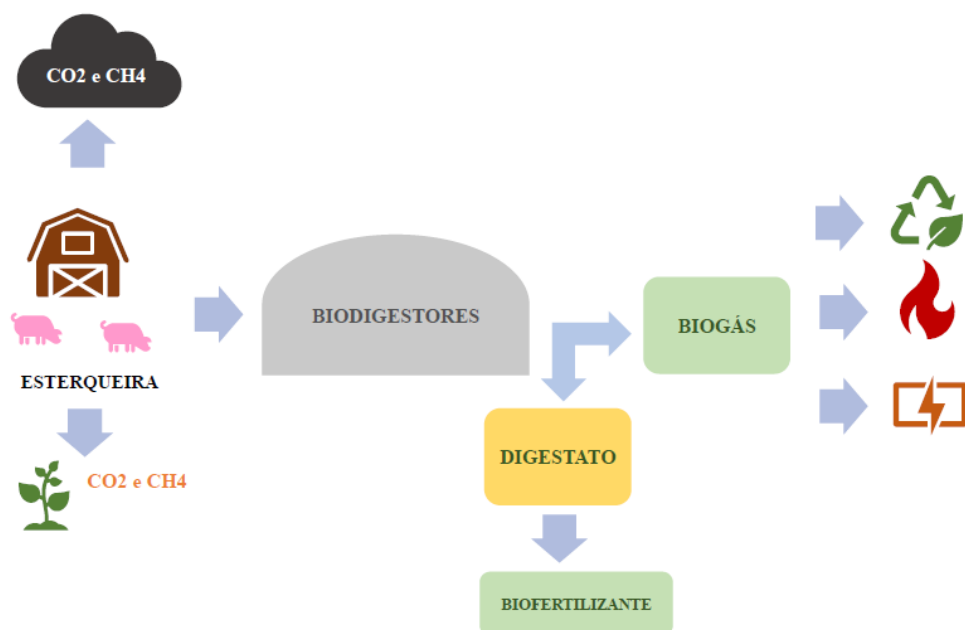
De acordo com o exposto, verifica-se que a vinhaça de cana-de-açúcar é um substrato rico em nutrientes propício para aplicação a partir da digestão anaeróbia visando a produção de hidrogênio e/ou metano.

DEJETOS SUÍNOS

O aumento da produção brasileira de suínos passou por grandes transformações nos últimos 20 anos, resultado do crescente avanço em novas tecnologias e, por sua vez, a produtividade, que visam como objetivo principal o aumento da competitividade (LEITÃO et al., 2020). Devido essa crescente, o volume de dejetos suínos gerados acompanhou esse aumento, e os efeitos desse volume sobre o meio ambiente e a saúde pública estão se tornando uma preocupação crescente em muitos países em desenvolvimento (GAWORSKI et al., 2017).

De acordo com a Figura 2, o esquema mostra a conversão dos dejetos suínos em biogás a partir da digestão anaeróbia. Ao invés dos gases resultante da degradação da matéria orgânica serem liberados diretamente para a atmosfera, ele é enclausurado no biodigestor para aproveitamento posterior, seja ele na forma de biofertilizante e/ou biogás, contribuindo para a sustentabilidade da atividade (CHENG et al., 2021).

Figura 2: Representação esquemática do aproveitamento dos dejetos suínos pela digestão anaeróbia e consequente mitigação das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE).



Fonte: KUNZ et al., 2022.

Alguns estudos que utilizaram apenas o esterco de porco como substrato em processo de monodigestão observaram dificuldades devido aos altos índices de nitrogênio em relação ao carbono orgânico disponível (WANG et al., 2012; YIN et al., 2015).

Os principais parâmetros para o aperfeiçoamento da produção de biogás no processo de codigestão devem ser mantidos em condições estáveis. Desta maneira, o acompanhamento da temperatura, pH, tamanho das partículas, relação C/N, dentre outros, são importantes para maximizar o desempenho dos microrganismos presentes no sistema (SIDDIQUE; WAHID, 2018a). Alguns trabalhos que utilizaram dejetos de suínos para produção de metano através da monodigestão e codigestão anaeróbia podem ser observados na Tabela 2.

Tabela 2: Estudos comparativos da produção de metano a partir de dejetos suínos.

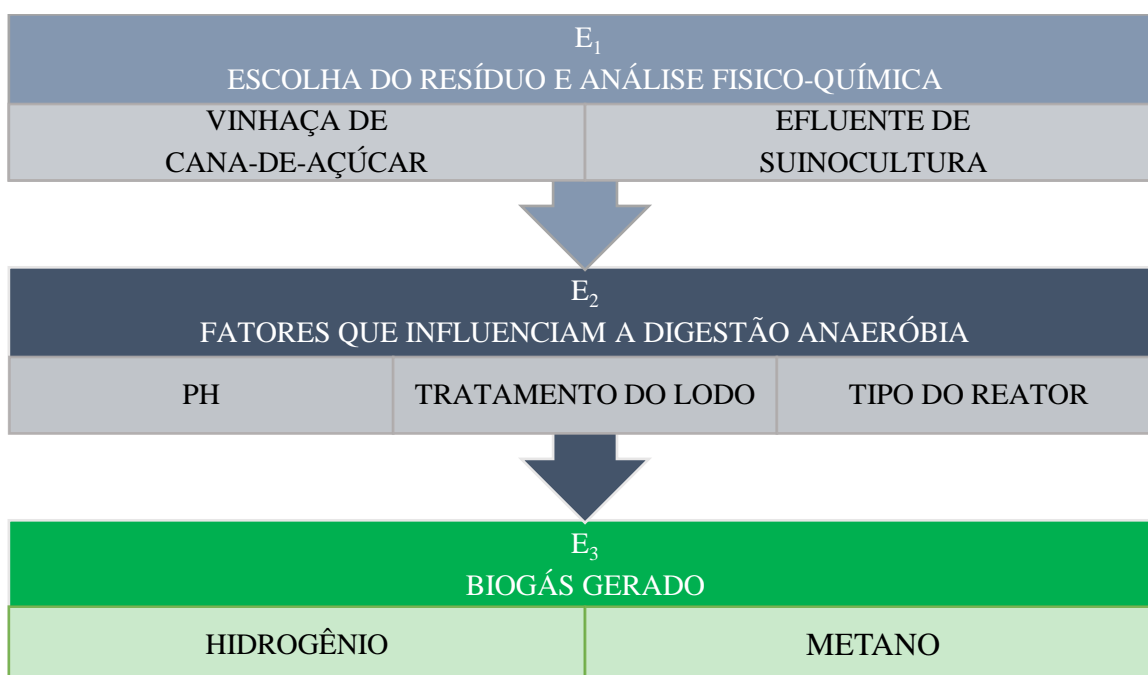
Referências	Substrato (s)	pH Concentração	Resultados
Fernandes et al., 2006	Águas residuárias de suinocultura	7.2-8.0 DQO: 7.557 - 11.640 mg L ⁻¹	A produção volumétrica de metano máxima de 0,755 m ³ CH ₄ (m ³ d) ⁻¹
Riaño et al., 2011	Dejetos suínos e água residuária de vinícola	7.7 0.7 gDQO/gssv.	85% de água residuária: 348 mLCH ₄ /gDQOd Sem adição: 27 mLCH ₄ /gDQOd
Cremones et al., 2015	Águas residuárias de suinocultura e Vinhaça	6.0-8.0 DQO: 30195,56 mg/L	R1: 29.9 e 69.0 R2: 25.4 e 68.4 % Remoção de STV e DQO, respectivamente.
Yin et al., 2015	Estrume Suíno Monodigestão PM ₁ : C/luz PM ₂ : S/luz	6.40 8% TS	PM ₁ : 15020,0 mL; PM ₂ : 2675,0 mL Produção de biogás acumulada.
Villa et al., 2020	Dejetos de suínos e Batata doce (BD) Ou mandioca (M)	6,9-7,3 28,6-30,7 SV (g L ⁻¹)	Rendimento de Biogás: BD: 901 L _N .kgSVadic ⁻¹ M: 883 L _N .kgSVadic ⁻¹ CH ₄ BD: 590 L _N .kgSVadic ⁻¹ M: 547 L _N .kgSVadic ⁻¹

Fonte: Autor, 2023.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do levantamento bibliográfico realizado, desenvolveu-se o seguinte roteiro experimental, conforme Figura 3. O seguinte roteiro demonstra as principais etapas envolvidas para produção de hidrogênio ou metano via digestão anaeróbia em escala laboratorial.

Figura 3: Roteiro experimental para produção de biogás a partir da digestão anaeróbia.



Fonte: Autor, 2023.

Na primeira etapa (E₁), é fundamental escolher um resíduo (cana-de-açúcar/efluente de suinocultura) e realizar as análises físico-química, tais como: DQO, carboidratos, sólidos voláteis totais, fósforo, nitrogênio, dentre outros (APHA, 2005).

O intuito dessa etapa, é garantir que o resíduo escolhido seja rico em nutrientes que favoreçam o processo de digestão anaeróbia, como por exemplo: elevadas concentrações de carbono, nitrogênio e carboidrato.

Na etapa seguinte (E₂), serão definidos os principais fatores que influenciam a digestão anaeróbia. O pH do meio reacional deverá ser controlado, visto que, os microrganismos produtores de metano necessitam de um ambiente parcialmente neutro, com um pH na faixa entre 7 e 8,5, o que influencia na solubilidade e na dissociação de alguns compostos, a exemplo

do sulfureto (HOLLIGER et al., 2021). Já as bactérias acetogênicas se adaptam melhor a um pH ácido (FUESS E GARCIA, 2014).

Se o resultado final for a produção de hidrogênio, deve-se realizar um tratamento prévio no lodo utilizado, por exemplo, o tratamento térmico consiste no aquecimento prévio do lodo por 10 min a 90 °C e posterior resfriamento em banho de gelo até que este atinja a temperatura de 25 °C (MAINTINGUER et al. 2008; KIM et al. 2006). O intuito desse tratamento prévio é diminuir as arqueas metanogênicas, produtoras de metano.

Em contrapartida, se a intenção for a produção de metano, não é necessário utilizar um tratamento específico no lodo.

Os principais tipos de reatores que podem ser utilizados, podem ser operados em um sistema de batelada, semi-contínuo ou contínuo. A escolha do reator está diretamente relacionada a disponibilidade do resíduo utilizado, ao produto final desejado.

Por fim, a última etapa (E₃), o resultado final obtido, pode ser a produção de hidrogênio ou metano. A quantificação do biogás gerado é obtida com o auxílio de cromatografia gasosa. O resultado final vai depender diretamente das etapas anteriores.

Conclui-se que diante do estudo bibliográfico realizado, o aprofundamento do conteúdo em questão, auxiliou na confecção do roteiro experimental. O roteiro demonstra uma sequência de etapas que tem aplicação em escala laboratorial, onde o mesmo descreve metodologias utilizadas na produção de biogás via digestão anaeróbia e poderá servir como base para desenvolver uma aula prática no curso técnico de meio ambiente.

O roteiro experimental foi aplicado previamente em uma pesquisa junto à UFAL.

REFERÊNCIAS

AGUIAR D. A.; RUDORFF B. F. T.; SILVA W. F.; ADAMI M. P. M. Remote sensing images in support of environmental protocol: monitoring the sugarcane harvest in São Paulo state, Brazil. **Remote Sens.** 12, 2682-2703, 2011.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. Standard methods for examination of water and wastewater. 21st ed. Washington D.C.: **American Public Health Association**, 2005.

ANGENENT L. T.; KARIM K.; AL-DAHMAN M. H.; WRENN B. A.; DOMÍGUEZ-ESPINOSA R. Production of bioenergy and biochemicals from industrial and agricultural wastewater. **Trends in biotechnology**, 22, 477-485, 2004.

AVACI A. B.; SOUZA S N. M.; CHAVES L. I.; NOGUEIRA C. E. C.; NIEDZIALKOSKI R. K.; SECCO D. Avaliação econômico-financeira da microgeração de energia elétrica proveniente de biogás da suinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, 17, 456– 462, 2013.

AQUINO S. F.; CHERNICHARO C. A. L. Acúmulo de ácidos graxos voláteis (AVGS) em reatores anaeróbios sob estresse: causas e estratégias de controle. Artigo Técnico. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 10, n. 2, abr-jun, 152-161, 2005.

AWOGBEMI O.; KALLON D. V. V. Valorization of agricultural wastes for biofuel applications: a review. **Heliyon**. 8, e11117, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11117>.

CHERNICHARO, C. A. L. Reatores Anaeróbios. 2º ed. ampl. e atual. Belo Horizonte: **Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental** - UFMG, 2019.

CREMONEZ, P. A.; DE ROSSI, E.; FEROLDI, M.; TELEKEN, J. G.; FEIDEN, A., & DIETER, J. Codigestão de água residual de suinocultura e vinhaça sob diferentes condições térmicas. **Revista de Ciências Agrárias**, 38, 103-110, 2015.

CHENG, Q.; HUANG, W.; JIANG, M.; XU, C.; FAN, G.; YAN, J.; CHAI, B.; ZHANG, Y.; ZHANG, Y.; ZHANG, S.; XIAO, B.; SONG, G. Challenges of anaerobic digestion in China. **Int. J. Environ. Sci. Technol**, 2021.

FERRAZ JÚNIOR M.; KOYAMA A. D. N.; ARAÚJO JÚNIOR M. H.; ZAIAT M. Thermophilic anaerobic digestion of raw sugarcane vinasse. **Renew. Energy**, 89, 245-252, 2016.

FUESS L. T.; GARCIA M. L. Implications of stillage land disposal: a critical review on the impacts of fertigation. **J. Environ. Manag.** 145, 210-229, 2014.

GAWORSKI M.; JABŁOŃSKA I. S.; PAWLACZYK-GRAJA I.; ZIEWIECKI R.; RUTKOWSKI P.; WIECZYŃSKA A. Enhancing biogas plant production using pig manure and corn silage by adding wheat straw processed with liquid hot water and steam explosion. **Biotechnol Biofuels** 10, 2017. <https://doi.org/10.1186/s13068-017-0922-x>.

HOLLIGER, C.; ASTALS, S.; DE LACLOS, H. F.; HAFNER, S. D.; KOCH, K., &

WEINRICH, S. Towards a standardization of biomethane potential tests: a commentary. **Water Science and technology**, 83, 247-250, 2021.

KIM, S.; HAN, S.; SHIN, H. Effect of substrate concentration on hydrogen production and 16S rDNA-based analysis of the microbial community in a continuous fermenter. **Process Biochemistry**, v. 41, p. 199-207, 2006.

LEITÃO, F. O.; DIAS, C. P., & BRISOLA, M. V. Mensuração da capacidade de geração de energia elétrica a partir do tratamento dos dejetos suínos. **Informe Gepec**, 24, 91-115, 2020.

MATA-ALVAREZ, J.; DOSTA, J.; ROMERO-GÜIZA, M.S.; FONOLL, X.; PECES, M., & ASTALS, S. Uma revisão crítica sobre as conquistas da codigestão anaeróbica entre 2010 e 2013. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 36, 412-427, 2014.

MAINTINGUER, S. I.; FERNANDES, B. S.; DUARTE, I. C. S.; SAAVEDRA, N. K.; ADORNO, M. A. T.; VARESCHE, M. B. A. Fermentative hydrogen production by microbial consortium. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 33, p. 4309-4317, 2008.

MARTINS FILHO J. B.; NEVES R. A.; ARAÚJO J. S.; FERRÃO G. E.; PIRES I. C. G. Resíduos orgânicos agropecuários e biodigestores: análise sobre a produção bibliográfica do período de 2000-2017. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, 9, 281-293, 2018. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2018.005.0025>.

OBI F.; UGWUISHIWU B.; NWAKAIRE J. Agricultural waste concept, generation, utilization and management Niger. **J. Technol.** 35, 957-964, 2016.

OLIVEIRA, P. A. V.; HIGARASHI, M. M. Geração e utilização de biogás em unidade de produção de suínos. Série Documentos n. 115. **Embrapa Suínos e Aves: Concórdia**, 2006.

PARÉ, G.; TRUDEL, M. C.; JAANA, M. & KITSIOU, S. Synthesizing information systems knowledge: A typology of literature reviews. **Information & Management**, 52, p. 183-199, 2015. doi.org/10.1016/j.im.2014.08.008.

PARSAEE, M.; KIANI DEH KIANI, M.; KARIMI, K. A review of biogas production from sugarcane vinasse. **Biomass & bioenergy**, v. 122, p. 117-125, 2019.

PATTANAIK L.; PATTNAIK F.; SAXENA D. K.; NAIK S. N. Biofuels from Agricultural Wastes. In: Basile, A., Dalena, F. (Eds.), *Second and Third Generation of Feedstocks*. Elsevier, Singapore, pp. 103-142, 2019.

PARKIN G. F.; OWEN W. F. Fundamentals of anaerobic digestion of wastewater sludges. **Journal of Environmental Engineering**, v. 112, p. 867-920, 1986.

RAMOS SUÁREZ, J. L.; GÓMEZ, D.; REGUEIRO, L.; BAEZA, A.; HANSEN, F. Alkaline and oxidative pretreatments for the anaerobic digestion of cow manure and maize straw: Factors influencing the process and preliminary economic viability of an industrial application. **Bioresource technology**, v. 241, p. 10-20, 2017.

RIAÑO, B.; MOLINUEVO, B.; GARCÍA-GONZÁLEZ, M.C. Potential for methane production from anaerobic co-digestion of swine manure with winery wastewater. **Bioresource Technology**, v. 102, p. 4131–4136, 2011.

SILVA C. O.; CEZAR V. R. S.; SANTOS M. B.; SANTOS A. S. Biodigestão anaeróbia com substrato formado pela combinação de esterco ovinocaprino, manipueira e biofertilizante. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, Aracaju, 4, 88-103, 2013.

SIDDIQUE MD. N. I.; WAHID Z. AB. Achievements and perspectives of anaerobic co-digestion: A review. **Journal of Cleaner Production**, 194, 359–371, 2018. DOI: 10.1016/J.JCLEPRO.2018.05.155.

SILVA, J. L. **Desempenho do reator anaeróbio horizontal com chicanas no tratamento da manipueira em fases separadas e estabilização do pH com conchas de sururu**. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento). Universidade Federal de Alagoas, Centro de Tecnologia, Maceió, 100 f. 2009.

TIAN, SHUANG-QI; ZHAO REN-YONG; CHEN ZHI-CHENG. Review of the pretreatment and bioconversion of lignocellulosic biomass from wheat straw materials. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, 91, 483-489, 2018. Elsevier BV. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.113>

VILLA, L.M.; ORRICO, A.C.A.; AKAMINE, L.A.; LUCAS JUNIOR, J.D. & SUNADA, N.D.S. Codigestão anaeróbia de dejetos suínos com batata-doce ou mandioca em diferentes relações C/N. **Ciência Rural**, 50, (2020).

YANG, L.; XU, F.; GE, X.; LI, Y. Challenges and strategies for solid-state anaerobic digestion of lignocellulosic biomass. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 44, p. 824–834, 2015.

YIN D.; LIU W.; ZHAI N.; FENG Y.; YANG G.; WANG X.; HAN X. Production of bio-energy from pig manure: a focus on the dynamics change of four parameters under sunlight-dark conditions. **Plos One**.2015; 10, 5.

WANG X.J.; YANG G.H.; FENG Y.Z.; REN G.X.; HAN X.H. Optimizing feeding composition and carbon—nitrogen ratios for improved methane yield during anaerobic codigestion of dairy, chicken manure and wheat straw. **Bioresour Technol** 120, 78–83, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.06.058>. PMID: 22784956.

WU, D.; LI, L.; ZHAO, X.; PENG, Y.; YANG, P. & PENG, X. Anaerobic digestion: A review on process monitoring. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 103, 1-12, 2019.

WU, D.; PENG, X.; LI, L.; YANG, P.; PENG, Y.; LIU, H.; WANG, X. Commercial biogas plants: Review on operational parameters and guide for performance optimization. **Fuel**, v. 303, Article ID 121282, 2021.