



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

ENGENHARIA DE ENERGIA

**AVALIAÇÃO DO EFEITO DA NUTRIÇÃO ANIMAL NO POTENCIAL DE PRODUÇÃO
DE BIOGÁS A PARTIR DE DEJETOS DE GADO LEITEIRO**

ALINE THAIS GOMES RODRIGUES

Foz do Iguaçu
2022

**AVALIAÇÃO DO EFEITO DA NUTRIÇÃO ANIMAL NO POTENCIAL DE PRODUÇÃO
DE BIOGÁS A PARTIR DE DEJETOS DE GADO LEITEIRO**

ALINE THAIS GOMES RODRIGUES

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território na Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Energia.

Orientador: Dr. Rodrigo Monteiro Eliott

Co Orientador: Dra. Andreia Cristina Furtado

Foz do Iguaçu

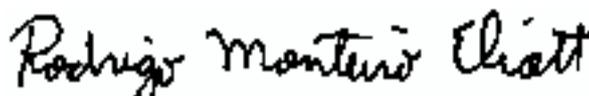
2022

ALINE THAIS GOMES RODRIGUES

**AVALIAÇÃO DO EFEITO DA NUTRIÇÃO ANIMAL NO POTENCIAL DE PRODUÇÃO
DE BIOGÁS A PARTIR DE DEJETOS DE GADO LEITEIRO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Instituto Latino-
Americano de Tecnologia, Infraestrutura
e Território da Universidade Federal da
Integração Latino-Americana, como
requisito parcial à obtenção do título de
Bacharel em Engenharia de Energia.

BANCA EXAMINADORA



Orientador: Prof. Dr Rodrigo Monteiro Eliott

UNILA



Co Orientador: Prof. Dra. Andreia Cristina Furtado

UNILA

Prof. Dr. César Adolfo Rodriguez Sotomonte

UNILA

Doutor Matheus Vitor Diniz Gueri
UNILA

Foz do Iguaçu, 05 de julho de 2022.

TERMO DE SUBMISSÃO DE TRABALHOS ACADÊMICOS

Nome completo do autor(a): Aline Thais Gomes Rodrigues

Curso: Engenharia de Energia

	Tipo de Documento
<input checked="" type="checkbox"/> graduação	<input type="checkbox"/> artigo
<input type="checkbox"/> especialização	<input type="checkbox"/> trabalho de conclusão de curso
<input type="checkbox"/> mestrado	<input type="checkbox"/> monografia
<input type="checkbox"/> doutorado	<input type="checkbox"/> dissertação
	<input type="checkbox"/> tese
	<input type="checkbox"/> CD/DVD – obras audiovisuais
	<input type="checkbox"/>

Título do trabalho acadêmico: Avaliação do efeito da nutrição animal no potencial de produção de biogás a partir de dejetos de gado leiteiro

Nome do orientador(a): Rodrigo Monteiro Elliott

Co Orientador: Andreia Cristina Furtado

Data da Defesa: 05/08/2022

Licença não-exclusiva de Distribuição

O referido autor(a):

a) Declara que o documento entregue é seu trabalho original, e que o detém o direito de conceder os direitos contidos nesta licença. Declara também que a entrega do documento não infringe, tanto quanto lhe é possível saber, os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade.

b) Se o documento entregue contém material do qual não detém os direitos de autor, declara que obteve autorização do detentor dos direitos de autor para conceder à UNILA – Universidade Federal da Integração Latino-Americana os direitos requeridos por esta licença, e que esse material cujos direitos são de terceiros está claramente identificado e reconhecido no texto ou conteúdo do documento entregue.

Se o documento entregue é baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não a Universidade Federal da Integração Latino-Americana, declara que cumpriu quaisquer obrigações exigidas pelo respectivo contrato ou acordo.

Na qualidade de titular dos direitos do conteúdo supracitado, o autor autoriza a Biblioteca Latino-Americana – BIUNILA a disponibilizar a obra, gratuitamente e de acordo com a licença pública *Creative Commons Licença 3.0 Unported*.

Foz do Iguaçu, 05 de agosto de 2022.

Aline Thair Gomes Rodrigues

Assinatura do Responsável

Dedico este trabalho aos meus espetaculares pais, minha mãe Marizete Gomes Rodrigues, ao meu pai Valdomiro Gomes Rodrigues. E aos meus sobrinhos imensamente amados, Guilherme Bertoldo Rodrigues e José Augusto Steinmetz Rodrigues. É por vocês e para vocês que faço tudo em minha vida.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a Aline do passado por não ter desistido, se mantido persistente nesses que foram os anos mais árduos de sua vida. Por ter superado todos os obstáculos que foram impostos e não ter desistido da graduação em engenharia de energia um dos seus principais sonhos.

Minha imensa gratidão aos meus pais Valdomiro Gomes Rodrigues e Marizete Gomes Rodrigues, pela oportunidade de me dedicar a vida acadêmica. E a família que eu amo tanto.

Aos mentores que encontrei em minha jornada acadêmica por não só me aconselharem, me apoiarem como servirem de inspiração para que eu sempre quisesse dar o meu melhor em tudo que eu fizesse para poder um dia estar em seu nível, sendo ele acadêmico ou humano.

Meus nobres amigos que me descontraíram e tornaram meus dias menos árduos durante os últimos anos. Em especial a meu fiel parceiro de estudos Matheus Luis Favero, que passou incontáveis horas comigo nessa jornada.

Minha gratulação a meus incríveis orientadores nesse projeto Dr. Rodrigo Monteiro Elliott e Dra. Andreia Cristina Furtado pelo privilégio de ser orientada por vocês. Por compartilharem sua experiência comigo, pelas sábias sugestões, correções e advertências.

As doações de matéria-prima para minhas análises, que foram feitas pelas equipes do Colégio Agrícola de Foz do Iguaçu e do Centro Internacional de Energias Renováveis – CIBIOGÁS, também por meu colega colega Athur Chais, foram fundamentais para o desenvolvimento desse projeto e possuem minha imensa gratidão.

E não poderia me esquecer de agradecer a Universidade Federal da Integração Latino – Americana, pela experiência maravilhosa que ela me proporcionou. Vivenciar tamanha pluralidade cultural me evoluiu muito como pessoa, em qualquer outra universidade eu poderia ter me esforçado e saído com um diploma, mas somente na UNILA eu conseguiria aprender tanto sobre o nosso belo mundo em tão pouco tempo.

“Eu nunca vejo o que já foi feito. Eu somente vejo o que ainda falta para ser feito”

Marie Curie

RESUMO

A produção de produtos lácteos tem como resultado a geração de resíduos como os de dejetos bovinos que causam graves impactos ambientais. Este projeto visa estudar esses resíduos, para melhor compreendê-los, fazendo sua caracterização e avaliando seu comportamento na degradação anaeróbia. Os objetos de estudo são duas amostras de dejetos de bovino, com características distintas de nutrição. As duas amostras de dejetos foram caracterizadas identificando seu teor de sólidos totais, fixos e voláteis, por meio do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Os experimentos de determinação potencial metanogênico dos resíduos foram conduzidos por 21 dias na temperatura 37°C. O volume de gás produzido em reatores com a mistura dejetos+inóculo, na proporção 3/5 e 2/5 respectivamente, foi medido diariamente. O dejetos de gado de pasto apresentou um teor de sólidos voláteis de 78,66% e o dejetos de gado confinado de 93,61%. Havia uma expectativa de que o dejetos de gado confinado apresenta-se um maior valor de volume de biogás acumulado por esse fato, porém considerando-se o desvio padrão os valores de volume cumulado de 62,56 mL para o resíduo do bovino de pasto e 56,74 mL para bovino confinado estavam na mesma faixa.

Palavras-chave: digestão anaeróbia; bovino-leite; teor de sólidos; gado pasto e confinado;

ABSTRACT

Dairy products result in the generation of residues such as cattle manure that cause serious environmental impacts. This project aims to study these residues, to better understand them, making their characterization and evaluating their behavior in anaerobic degradation. The objects of study are two samples of cattle manure, with different nutritional characteristics. The two waste options were identified for the Water and Wastewater Examination method. The residue determination experiments were planned for potential temperatures of 21°C. The production volume produced with the mixture of manure+inoculum, in the proportion 1/5/5 and respectively, was average daily. Pasture cattle manure presented a volatile solids content of 78.66% and confined cattle manure of 93.61%. There is an expectation of value that the confined manure presents a value of volume of biogas accumulated by fact, however considering the standard deviation of accumulated volume values of 62.56 mL for beef fat and 56.74 mL for confined cattle were in the same range.

Keywords: anaerobic digestion; dairy cattle; solid content; pasture and confined cattle;

RESUMEN

Los productos lácteos dan como resultado la generación de residuos como el estiércol de ganado que provocan graves impactos ambientales. Este proyecto tiene como objetivo estudiar estos residuos, para conocerlos mejor, realizando su caracterización y evaluando su comportamiento en la degradación anaeróbica. Los objetos de estudio son dos muestras de estiércol bovino, con diferentes características nutricionales. Las dos opciones de desechos fueron identificadas para el método de Examen de Agua y Aguas Residuales. Los experimentos de determinación de residuos se planificaron para temperaturas potenciales de 21°C. El volumen de producción producido con la mezcla de estiércol+inoculo, en la proporción /5/5 y respectivamente, fue promedio diario. El estiércol de ganado en pastoreo presentó un contenido de sólidos volátiles de 78,66% y el estiércol de ganado confinado de 93,61%. Existe una expectativa de valor de que el estiércol confinado presente un valor de volumen de biogás acumulado por hecho, sin embargo considerando la desviación estándar de volumen acumulado valores de 62,56 mL para grasa bovina y 56,74 mL para ganado confinado estuvieron en el mismo rango.

Palabras clave: digestión anaeróbica; vacas lecheras; contenido solido; ganado en pastoreo y ganado confinado;

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fontes de biomassa.....	20
Figura 2 - Diagrama esquemático dos processos de conversão energética da biomassa.....	24
Figura 3 - Esquema de funcionamento do biodigestor.....	29
Figura 4 - Local onde vive o gado de pasto.....	31
Figura 5 - Local onde vive o gado confinado.....	32
Figura 6 - Reatores montados.....	34
Figura 7 - Averiguação em reator.....	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição média do biogás para diferentes tipos de biomassa	26
Tabela 2 - PCI de diferentes tipos de gases combustíveis.....	27
Tabela 3 - Equivalência energética para 1 m ³ de biogás	27
Tabela 4 – pH obtidos para as amostras in natura e amostras nos retores de biodigestão.....	37
Tabela 5 - Teor de sólidos das amostras de gado pasto.....	38
Tabela 6 – Teor de sólidos das amostras de gado confinado	38
Tabela 7 - Comparação do teor de sólido obtidos.....	38
Tabela 8 – Volume acumulado de biogás produzido.....	42
Tabela 9 - Potencial de geração de biogás	43

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANP	Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis Associação
CIBIOGÁS	Centro Internacional de Energias Renováveis
DERAL	Departamento de Economia Rural
ILATIT	Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
PCI	Poder Calorífico Inferior
PR	Paraná
PTI	Parque Tecnológico de Itaipu
UNILA	Universidade Federal da Integração Latino-Americana
SV	Sólidos Voláteis
SF	Sólidos Fixos
ST	Sólidos Totais

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	15
1.1 JUSTIFICATIVA.....	15
2 OBJETIVOS	17
2.1 OBJETIVO GERAL.....	17
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
3.1 RELEVÂNCIA DA BIOENERGIA.....	18
3.2 BIOMASSA.....	19
3.3 A INDÚSTRIA DO LEITE E SEU IMPACTO AMBIENTAL	20
3.4 BIOCOMBUSTÍVEIS	22
3.5 BIOGÁS.....	25
3.6 DIGESTÃO ANAERÓBIA	28
4 METODOLOGIA.....	30
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA BIOMASSA.....	33
4.2 BIODIGESTÃO ANAERÓBIA	33
5 RESULTADOS.....	37
5.1 CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS	37
5.2 BIODIGESTÃO ANAERÓBIA	39
6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	45
7. CONCLUSÕES	46
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	47
APÊNDICES	52
APÊNDICE A – AVERIGUAÇÕES DE VOLUME	53
APÊNDICE B – AVERIGUAÇÕES DE PRESSÃO.....	54

1. INTRODUÇÃO

Utilizar biomassa como fonte energética é algo antigo em nossa sociedade, as primeiras utilizadas foram a lenha e o carvão vegetal (VASCONCELLOS, 2002). Os homínídeos já queimavam material orgânico para obtenção de fogo, há mais 1 milhão de anos, segundo estudos (PIRES, 2012).

Entretanto, como os recursos fósseis são finitos, substitutos que desempenhem as mesmas funções causando menor impacto ambiental são necessários. Uma das soluções de substituição é a utilização de bioenergia. Em seu emprego, é prestado pela biomassa o papel de matéria prima para geração de energia sustentável, onde o material pode ser residual de outros processos ou obtido com facilidade na região.

Os setores de energia e de alimentação estão entre os principais poluidores do mundo (BREEM ES, 2021). Durante a fabricação de produtos lácteos existem consequências ambientais, uma delas é a liberação de dejetos orgânicos prejudiciais ao meio ambiente.

Deste modo, este projeto estuda as diferenças entre os dejetos de dois gados com alimentações diferentes, fazendo sua caracterização, determinando seu potencial de produção de biogás, analisando assim a resultância de determinada alimentação nas propriedades do resíduo.

As duas amostras de dejetos analisadas são de gados da mesma raça, que se alimentam de formas opostas. Enquanto um tipo é de bovino de pasto que se alimenta principalmente de pasto natural, o outro tipo tem sua alimentação mais concentrada, focada em ração e silagem específicas.

O desenvolvimento desse estudo permite que produtores de leite tenham conhecimento de propriedades específicas do dejetos de gado leiteiro, como pH, percentuais de sólidos totais, fixos e voláteis, produção diária de gás com sua pressão específica. Podendo aproveitar seus resíduos como matéria-prima para geração de energia.

1.1 JUSTIFICATIVA

Na criação de gado para produção de leite existem problemas semelhantes aos demais subprodutos oriundos da agropecuária, um deles são os

dejetos dos animais. Para Lora e Venturi “à medida que o animal fica confinado, mesmo que em um curto espaço de tempo, para ordenha, por exemplo, os dejetos produzidos ficam concentrados e necessitam ser tratados para evitar a poluição” (LORA e VENTURI, 2012).

Os resíduos provenientes da pecuária, podem ser utilizados para a produção de energia, atenuando a poluição gerada e permitindo que seja utilizada energia renovável no processo produtivo. Tornando o leite que chega as prateleiras para o cliente um produto mais sustentável.

Para alguns pesquisadores como Galvarro, os resíduos do agronegócio podem deixar de ser um problema para se tornarem uma ótima opção de fonte de energia (GALVARRO, 2016). Segundo ela:

As regiões Sudeste e Sul do Brasil são as regiões com maior quantidade de energia disponível a partir dos resíduos agrícolas. Estes podem ser aproveitados para gerar energia térmica para a própria produção agrícola, utilizando tecnologias de conversão termoquímica eficientes (GALVARRO, 2016);

Diante do exposto, o presente trabalho desenvolvido com o intuito de avaliar a produção de biogás, a partir de dejetos dos bovinos de produção leiteira, comparando o efeito da alimentação natural em pasto, versus a alimentação com concentrado e silagem, do gado em confinamento. Buscando assim, qual a melhor alternativa na produção de biogás e se ambas atendem a necessidade de uma produção deste biocombustível.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o potencial de biogás resultante da digestão anaeróbia de dejetos de gado do setor de produção de laticínios, identificando o efeito do tipo de alimentação do rebanho.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos desenvolvidos foram:

- Caracterizar os dejetos bovinos;
- Determinar o potencial de produção de biogás dos resíduos;
- Identificar o efeito do tipo de alimentação do rebanho no potencial de produção de biogás do dejetos;

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 RELEVÂNCIA DA BIOENERGIA

A Aliança Empresarial Responsável, define que bioenergia gerada:

É um tipo de [1[,,}] renovável que é produzida a partir do uso de matéria orgânica e industrial formada em algum processo biológico ou mecânico, geralmente a partir das substâncias que constituem os seres vivos ou seus restos e resíduos (RBA AMBIENTAL, 2022).

Em virtude das consequências ambientais e a compreensão da futura escassez do uso de energias oriundas de fontes como petróleo, carvão e gás, o mundo percebeu que a dependência de poucas fontes energéticas, principalmente a fóssil, além de ser arriscada é prejudicial ao meio ambiente, devido a emissão de gases poluentes.

Os principais gases prejudiciais ao ecossistema emitidos na atmosfera são dióxido de carbono (CO₂) e metano (CH₄), juntos os dois são responsáveis por 92% das emissões de gases responsáveis pelo efeito estufa (EPA - UNITED STATES, 2020). O dióxido de carbono é liberado principalmente na utilização de combustíveis fósseis, também na decomposição de matéria orgânica seja de forma natural ou forçada. O metano é emitido principalmente nas atividades agrícolas, também nos procedimentos com dejetos, uso de energia e queima de matéria orgânica. Ambos podem ser emitidos em menor quantidade caso sejam aproveitados na bioenergia.

Em estudos mais recentes onde considerou-se o desmatamento e o manuseio de solo, o Brasil ficou com o quarto lugar global no acúmulo de emissões de 1850 a 2021 (PASSARINHO, 2021).

Ainda que tanto a matriz energética mundial quanto a brasileira sejam compostas majoritariamente por matéria prima não renovável, o uso das energias renováveis aumentou enquanto o das não renováveis diminuiu (FGV ENERGIA, 2022). O crescimento dos projetos que usam energias renováveis é positivo ao meio ambiente e diversifica a matriz energética. Existem fontes inesgotáveis a serem exploradas, podem ser até mesmo mais baratas pois utilizam fontes gratuitas de energia ou de baixo custo e possibilita a tão almejada independência energética.

Materiais orgânicos residuais de outros processos podem ser

utilizados como matéria prima energética, eles são conhecidos como biomassa. A aplicação destes materiais residuais na bioenergia é fundamental para seu fortalecimento.

3.2 BIOMASSA

Segundo Malico,

No contexto energético, o termo biomassa refere-se ao material biológico proveniente de seres vivos que pode ser convertido em energia. Este material inclui produtos e resíduos da agricultura, da floresta e das indústrias relacionadas, bem como a fração biodegradável dos resíduos industriais e urbanos (MALICO, 2008).

Para avaliar o potencial de uma determinada matéria-prima para geração de energia deve-se analisar as suas características físico-químicas. As principais características fundamentais na análise de energia da biomassa, para os autores Lora e Venturi são: análise química elementar, composição técnica aproximada, poder calorífico, composição granulométrica e a composição de cinzas. Sendo que a análise química elementar demonstra o teor percentual em massa dos principais elementos químicos: carbono (C), hidrogênio (H), oxigênio (O), nitrogênio (N), enxofre (S), umidade (W) e as cinzas (A). E a análise química imediata determina as frações percentuais em peso da umidade, cinzas, voláteis e carbono fixo (CF) (LORA e VENTURI, 2012).

Além das características do material, a disponibilidade da matéria-prima é fator decisório pois, mesmo um material que ofereça características específicas para produção, quando não há disponibilidade no local desejado torna-se economicamente inviável para a produção energética. Existir a oferta de biomassa é fator determinante no momento de execução de um projeto de geração.

Existe uma grande quantidade de materiais orgânicos que podem ser utilizados como biomassa. Eles podem ser divididos em categorias, como pode ser visto na Figura 1.

Figura 1 - Fontes de biomassa



Fonte: Adaptado (BEDIA, PEÑAS-GARZÓN, *et al.*, 2018)

O aproveitamento de resíduos de outros processos é muito positivo, porque utiliza-se de um material que anteriormente não teria uso algum estando condicionado a ser um problema. Esta utilização de biomassa ainda pode-se oportunizar a geração de energia em locais isolados, onde as distribuidoras não disponibilizam rede de energia elétrica, ou não oferecem o serviço com qualidade.

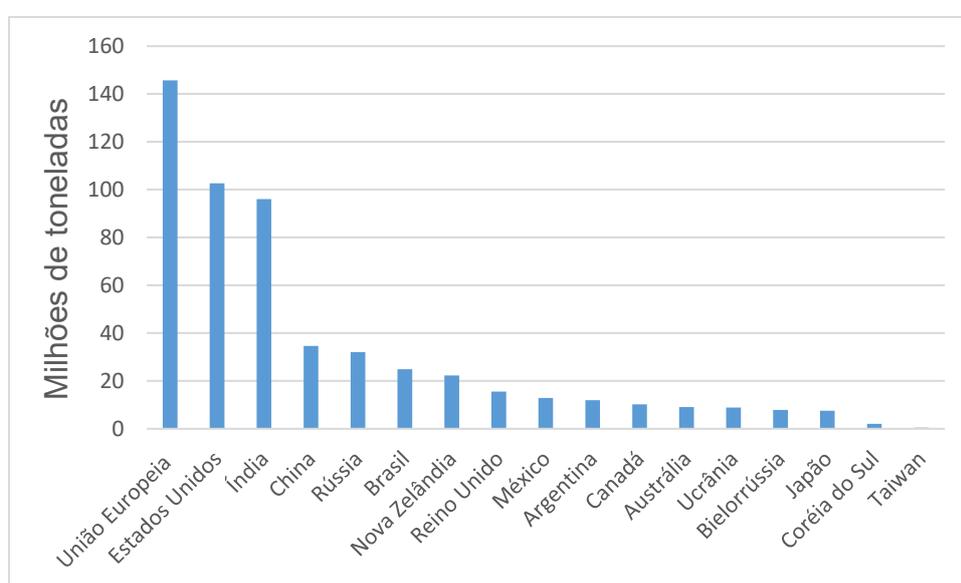
No processo produtivo do leite, resíduos de animais como dejetos bovinos são formados neste processo. Este material residual pode ser aproveitado para geração de biogás.

3.3 A INDÚSTRIA DO LEITE E SEU IMPACTO AMBIENTAL

Produtos lácteos fazem parte de nossa alimentação a séculos, ao redor do mundo existem grandes empresas do setor, que possuem uma grande variedade de mercadorias. A produção destas mercadorias resultam em consequências para os animais e o meio ambiente (HUSSAIN, 2022).

O leite in natura e todos os seus produtos derivados, movimentam uma grande indústria. No ano de 2021 o valor do mercado de laticínios mundial foi estimado em 871 bilhões de dólares, com projeção de crescimento para 1.128 bilhões de dólares até 2026 (SHAHBANDEH, 2022). No Gráfico 1 observa-se a produção de leite, dos maiores produtores.

Gráfico 1 - Principais produtores de leite de vaca em todo o mundo em 2021



Fonte: Adaptado (STATISTA, 2022)

Apesar de ser um grande produtor de leite, a exportação não chegou a 1% da produção nacional em 2021, visto que o país também é um grande consumidor do produto e não possui um valor competitivo de mercado (CANAL RURAL, 2021).

Na região sul do Brasil, segundo o Instituto de Energia e Meio Ambiente no ano de 2018 os principais poluentes foram agricultura e pecuária que responderam por 46%, enquanto o setor energético por 33% (IEMA, 2021). Na região a economia está fortemente ligada ao campo, conseqüentemente a procedência de suas emissões.

O Departamento de Economia Rural (DERAL), relata que a bovinocultura de leite do estado do Paraná ocupou o segundo lugar, produzindo 4,4 bilhões de litros de leite, equivalente a 12,9% da produção brasileira do produto. Esta

realização é decorrente de mais de 1,3 milhões de vacas ordenhadas (DERAL, 2021).

Quando se trata de bovinocultura de corte, o Paraná fica mais atrás no ranking ocupando o décimo lugar, equivalente somente a 4,2% da produção nacional de carne. O número total do rebanho se aproxima de 9 milhões (DERAL, 2021).

Castañon alega que cada animal produza entre 10 e 15 quilos de estrume por dia, o valor é o mesmo para gado de corte e gado de leite (CASTAÑON, 2002). Analisando o valor médio diário da produção de dejetos, pode-se estimar a produção diária de dejetos como: 16,25 milhões (kg) para os bovinos de leite e de 112,5 milhões (kg) para os bovinos de corte, no ano de 2021.

3.4 BIOCOMBUSTÍVEIS

A Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) define biocombustíveis como “derivados de biomassa renovável que podem substituir, parcial ou totalmente, combustíveis derivados de petróleo e gás natural em motores a combustão ou em outro tipo de geração de energia” (ANP, 2020). Um combustível pode ser considerado renovável se seu tempo de produção e de consumo são iguais, portanto, desconsiderando elementos fossilizados.

O Parlamento Europeu e o Conselho da União Europeia através do Decreto-Lei n.º 62/2006 determinam a ser considerados dez tipos de biocombustíveis (REIS, 2018):

- Biogás;
- Bioetanol;
- Biometanol;
- Biodiesel;
- Bioéter dimetílico;
- Bio-ETBE (bio éter etil-ter-butílico);
- Bio-MTBE (bio éter metil-ter-butílico)
- Biocombustíveis sintéticos;
- Biohidrogênio;
- Óleo vegetal puro produzido a partir de plantas oleaginosas;

No Brasil os mais utilizados são bioetanol e biodiesel (ALMEIDA 2021), sendo bioetanol oriundo da cana-de-açúcar e o biodiesel produzido a partir de

óleos vegetais ou de gorduras animais e adicionado ao diesel de petróleo em proporções variáveis.

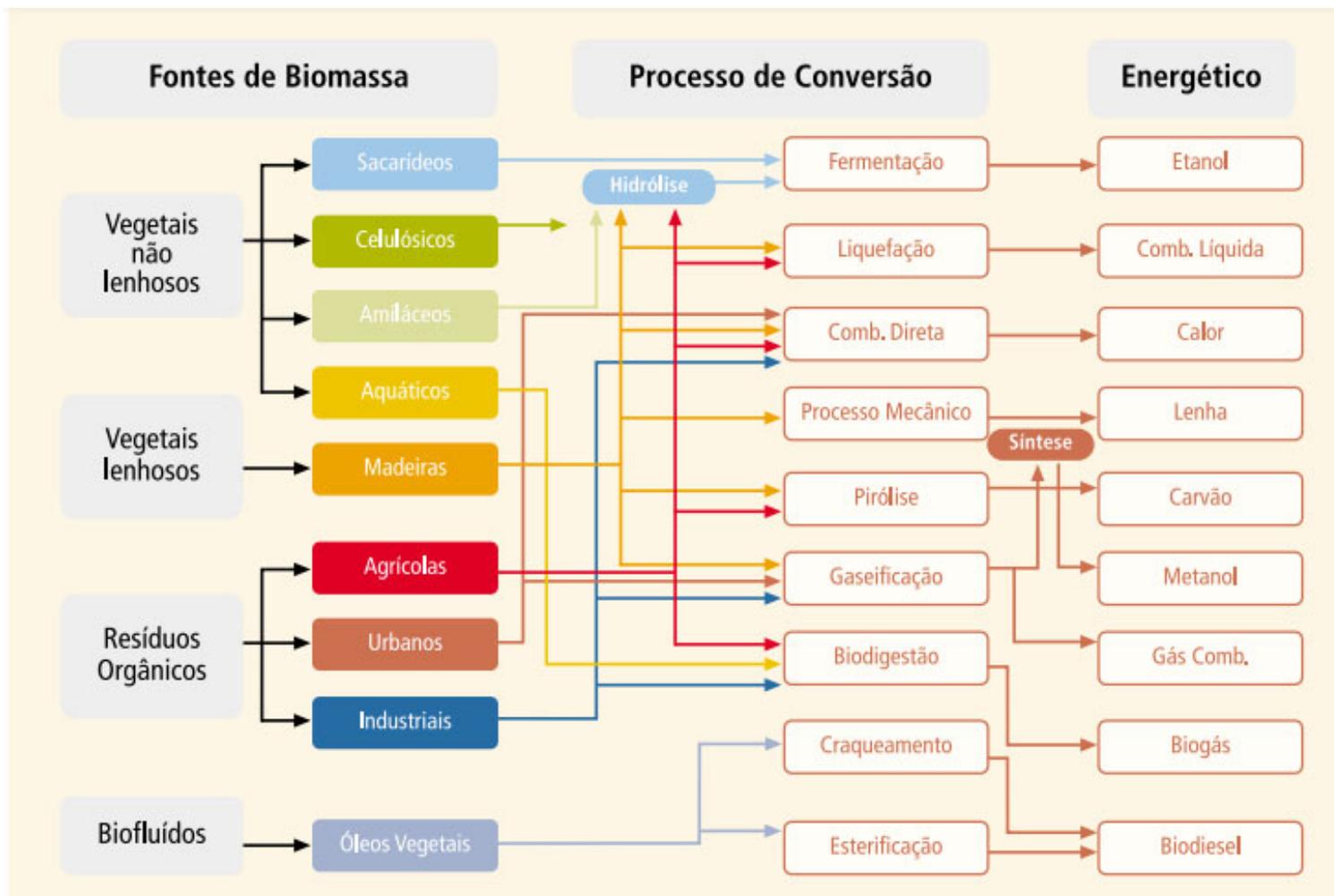
Após uma crise que ocasionou a alta no preço do petróleo, escancarou-se a necessidade de diversidade na matriz energética nacional. Para solucionar o problema de dependência energética de combustíveis fósseis, foi instituído o Programa Nacional do Álcool em 1975 (BIODISEL BR, 2006).

Com a evolução do programa e se beneficiando do favorecimento climático, abundância de recursos hídricos, diversidade agrícola e políticas de incentivo, o país se tornou referência mundial por sua implementação bem-sucedida de bicombustíveis líquidos, atualmente é um dos líderes na produção (RABELLO, 2018).

Os bicombustíveis precisam ser utilizados com planejamento adequado para que não se tornem um problema, cada biocombustível possui características individuais em sua aplicação que precisam ser analisadas. Quando a biomassa é plantada para fins energéticos e pode ser consumida como alimento, como é o caso da cana-de-açúcar é necessário entender o comportamento anual do insumo, para não elevar seu preço e sim auxiliar para que haja movimentação econômica na região. Quando a biomassa utilizada provém de resíduos é necessário compreender se existe sazonalidade ou constância em sua oferta, para que não ocorram imprevistos.

Para que a biomassa seja transformada em biocombustível ela necessita passar por um processo de conversão. Na Figura 2, observa-se uma classificação de fontes de biomassa, os processos de conversão aos quais elas podem ser submetidas e a fonte energética resultante do procedimento.

Figura 2 - Diagrama esquemático dos processos de conversão energética da biomassa



Fonte: ((ANEEL), 2005)

Um importante combustível produzido a partir da biomassa é o biogás, como é esquematizado no diagrama, ele é obtido por meio do processo de biodigestão de resíduos orgânicos.

3.5 BIOGÁS

O Centro Internacional de Energias Renováveis – CIBIOGÁS define biogás como: “um tipo de biocombustível produzido a partir da decomposição de materiais orgânicos (de origem vegetal ou animal), que são decompostos, produzindo uma mistura de gases” (CIBIOGÁS, 2022).

Uma mistura de gases origina o biogás, habitualmente ela é formada por: 60% de metano (CH_4), 35% de dióxido de carbono (CO_2) e 5% de uma mistura dos demais elementos químicos (ENERMAC, 2022).

Para geração de energia se está interessado no metano, pois ele é o fundamental responsável pela geração de energia. Quanto maior for a concentração de metano maior é o potencial energético, e conseqüentemente o valor de mercado do biocombustível. Sendo o biogás com uma composição de metano entre 60% e 80%, e o biometano entre 95% e 98% (PORTAL DO BIOGÁS, 2022).

A composição do biogás relaciona-se com a composição do substrato, conforme a fonte de resíduo será a composição química do biogás. Pode-se observar as concentrações médias de biogás algumas biomassas residuais na Tabela 1.

Tabela 1 - Composição média do biogás para diferentes tipos de biomassa

Biomassa residual (efluente)	Composição Biogás		
	CH ₄ (%)	CO ₂ (%)	H ₂ S (ppm)
Amidonaria (mandioca)	54,3	44,9	97,0
Bovinocultura leiteira	59,6	39,1	329,3
Misto (aves de postura + bovinocultura de corte)	69,2	29,8	64,1
Abatedouro de aves	68,2	29,6	1897,1
Suinocultura – terminação	62,0	37,0	2782,3
Suinocultura - produção de leitões	68,4	30,6	1309,1

Fonte: (LINS, MITO e FERNANDES, 2015)

Um importante parâmetro de um combustível é o seu poder calorífico inferior (PCI), ele quantifica a energia liberada na combustão estequiométrica de uma certa quantidade de combustível. Na Tabela 2 pode-se observar o PCI do biogás, comparado a outros diferentes gases combustíveis. Nesta considera-se uma composição média de gases presentes no biogás de: 60% de metano, 35% dióxido de carbono, 2,3% de hidrogênio, 1,5% de nitrogênio, 0,55% oxigênio, 0,3% ácido sulfídrico e 0,05 monóxido de carbono. A concentração foi encontrada analisando biomassa de rejeitos rurais (CASTAÑON, 2002).

Tabela 2 - PCI de diferentes tipos de gases combustíveis

Gás	PCI (kcal/m³)	PCI (kJ/m³)
Metano (CH ₄)	8 500	35 558
Propano	22 000	92 109
Butano	28 000	117 230
Gás Natural	7 600	31 819
Biogás	5 500	23 027

Fonte: (CASTAÑON, 2002)

O biogás pode ser utilizado como fonte energética para diversas operações, pois possui aplicabilidade na produção de energia: elétrica, térmica e mecânica, sendo mais comum a geração de energia elétrica (MARTINEZ, BÜHRING e MÜLLER, 2019). A partir da Tabela 3, pode-se comparar energeticamente o biogás com alguns dos combustíveis mais comuns.

Tabela 3 - Equivalência energética para 1 m³ de biogás

Combustível	Quantidades Equivalentes
Carvão	1,5 m ³
Gás Natural	1,5 m ³
Óleo cru	0,72 L
Gasolina	0,98 L
Álcool	1,34 L
Eletricidade	2,21 kWh

Fonte: (FARRET, 1999)

Dentre as tantas aplicações do biogás, no meio rural costuma-se optar entre o processo de geração ou compressão, para se obter energia elétrica ou térmica respectivamente. Além da produção energética pode-se obter biofertilizante como

subproduto.

O biogás é um biocombustível em ascensão no Brasil, entre os anos de 2015 e 2019 houve um crescimento médio de 20% ao ano, entre 2019 e 2020 processou-se crescimento ainda maior chegando a 23% ao ano (CIBIOGÁS, 2021). Sendo o estado do Paraná pioneiro na aplicação do biogás, tanto como combustível quanto como fertilizante. Existe a expectativa de que até 2030 existam 8 a 10 mil produtores no estado (MILKIEWICZ, 2021).

A produção do biogás precisa ocorrer em um local onde não há presença de oxigênio, esse processo de decomposição de matéria orgânica é conhecido como digestão anaeróbica (CIBIOGÁS, 2022).

3.6 DIGESTÃO ANAERÓBIA

O processo metabólico de digestão anaeróbia é complexo que requer condições controladas e um ambiente livre de oxigênio. Nele existe a atividade conjunta de uma associação de microrganismos, que transformam o material orgânico essencialmente em metano e dióxido de carbono (KUNZ, STEINMETZ e AMARAL, 2019).

A decomposição de matéria orgânica passa por um processo que pode ser dividido em quatro fases, sendo: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese. O desenvolvimento dessas fases ocorre da seguinte forma (KUNZ, STEINMETZ e AMARAL, 2019):

- Hidrólise: ocorre a degradação dos compostos alta massa molecular;
- Acidogênese: monômeros (moléculas orgânicas) formados na fase hidrolítica são utilizados como essência por diferentes bactérias anaeróbias e facultativas;
- Acetogênese: conversão dos produtos formados na acidogênese, eles formam substratos para a produção do metano;
- Metanogênese: as bactérias produzem o metano;

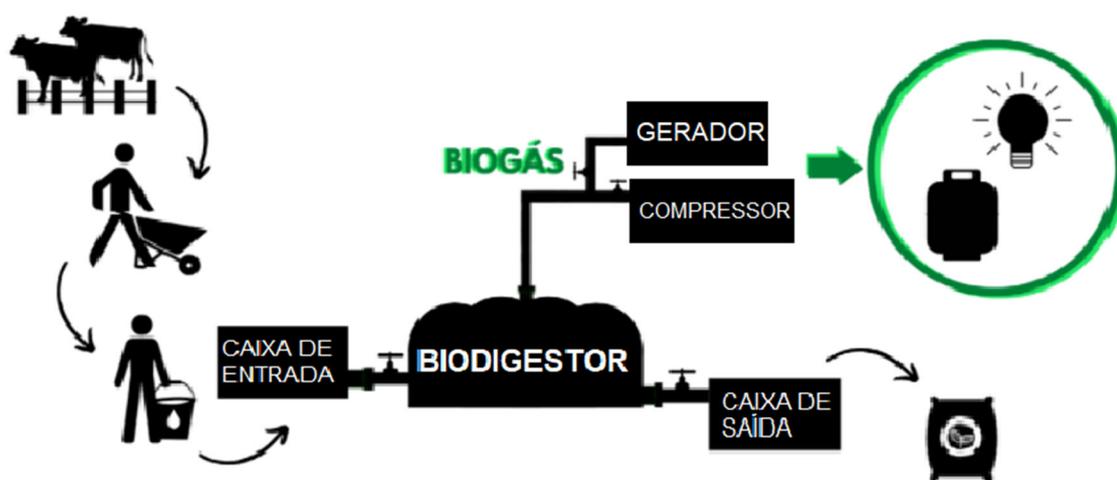
A digestão anaeróbia também pode ser chamada de biodigestão, ela é na realidade um processo natural de decomposição, que ocorre na matéria orgânica através de micro-organismos, desde que o ambiente não possua oxigênio (LIMA,

2020). O procedimento de biodigestão também pode ocorrer em ambiente controlado, em um equipamento chamado biodigestor.

O biodigestor é um reator onde acontecem, dependendo do processo, sob condições controladas de temperatura e substratos, os processos biológicos que geram o biogás (EMBRAPA, 2022). Inserida dentro de um biodigestor a biomassa sofre um processo de decomposição mais rápido (VGR, 2021).

Esse procedimento possui o termo técnico de biodigestão anaeróbica. Na Figura 3 observa-se um esquema ilustrado, dos processos pelo qual o dejetos de gado leiteiro analisado pode passar.

Figura 3 - Esquema de funcionamento do biodigestor



Fonte: Adaptado (EMAS JR. CONSULTORIA, 2019)

Existem diferentes tipos de biodigestores, os mais conhecidos no mundo são os modelos chinês e indiano. No Brasil o mais utilizado é o modelo canadense, que pode operar de 40 a 60 dias após o início de sua operação (EDUCA POINT, 2018). Por sua praticidade e custo tem-se difundido no país, aqui ficou conhecido como biodigestor de lagoa coberta.

4 METODOLOGIA

Desenvolveu-se essencialmente nesse projeto uma análise de dejetos bovinos leiteiros, fazendo sua caracterização e observação de sua decomposição.

Como objeto de estudo foram escolhidas amostras de dejetos de bovinos leiteiros, que se contrapõem na forma de sua nutrição, elas foram coletadas para análise do efeito da alimentação no potencial de geração de biogás dos dejetos.

Para entendimento das características de dejetos de gado com opostas formas de alimentação, foram utilizadas metodologias de padrão internacional juntamente com preferências da autora, baseadas em projetos semelhantes.

Os bovinos produtores dos dejetos são da raça Jersey, eles possuem as seguintes especificações alimentares:

- Gado 1: os animais vivem no pasto e se alimentam a vontade de pastagem natural, recebem somente 1.800 gramas em média, de ração por animal para complementação. Esta ração é produzida em uma relação 50 kg de farelo de soja, 150 kg de milho moído e 10 kg de sal mineral. O pasto de que os animais se alimentam e o ambiente espaçoso em que vivem está representado na Figura 4.

Figura 4 - Local onde vive o gado de pasto



Fonte: Equipe Colégio Agrícola de Foz do Iguaçu

- Gado 2: os animais estão em confinamento intensivo, possuem alimentação controlada. Cada animal recebe em média 25,5 kg de alimento por dia, composta por silagem, ração e complemento. De silagem são oferecidos 21 quilos, sendo composta de milho. De ração são disponibilizados 3 quilos, esta ração é fabricada em proporções iguais de milho e soja. A alimentação ainda é complementada com 500 g de casca de soja, 500 gramas de feno e 500 gramas milho Rólon (espiga moída). Em pesquisa feita na propriedade, foi informado ao produtor que sua ração possui 27% de amido e sua silagem 26% de amido. O espaço onde vive o gado confinado está ilustrado na Figura 5.

Figura 5 - Local onde vive o gado confinado



Fonte: (CHAI, 2022)

A primeira amostra de fezes foi coletada no Colégio Agrícola de Foz do Iguaçu, as vacas leiteiras possuem vasto pasto. A segunda amostra foi coletada na propriedade rural de Douglas Maurina, localizada em Camargo - Rio Grande do Sul.

Após a coleta, as amostras foram congeladas até a realização dos experimentos. Para o momento de execução elas foram descongeladas a temperatura ambiente por 24 horas. Todos os testes foram realizados no Laboratório de Biocombustíveis da UNILA, localizado no Parque Tecnológico de Itaipu (PTI), na cidade de Foz do Iguaçu – PR. Todos os experimentos foram realizados em triplicata.

Para executar a caracterização da biomassa, as amostras de dejetos foram caracterizadas tendo como base a metodologia definida pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Através da normativa de análise 2540-G, determina-se os sólidos totais (ST), sólidos fixos (SF) e sólidos voláteis (SV) para amostras sólidas e semi-sólidas.

A fim de controlar o processo de biodigestão, foram montados reatores com amostras. Para este procedimento não foi utilizada normativa padrão, as escolhas foram feitas através da observação de experimentos similares.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA BIOMASSA

A compreensão do teor de sólidos permite entender em uma amostra o quanto de matéria orgânica tem potencial para se tornar biogás, o quanto é umidade e o quanto é sedimento.

Os sólidos totais são a porção do material após sua secagem, pelo método base a evaporação de líquidos no material deve ocorrer entre 103°C e 105°C. Já os sólidos fixos são os resquícios do aquecimento dos sólidos totais em uma temperatura alta o suficiente para que haja calcinação. Enquanto os sólidos voláteis são a porção dos sólidos perdida após a calcinação na amostra.

Para a determinação do teor de sólidos totais, os cadinhos, foram pré aquecidos em uma mufla, modelo Zezimaq 2000G, na temperatura de 550°C por 1 hora, depois resfriados na própria mufla (fechada pra não pegar umidade), então foram pesados e receberam 5 g de amostra de dejetos. Os cadinhos com as amostras foram inseridos na estufa, da marca Limatec de modelo LF00212 à 105°C por 24 horas, após o resfriamento (dentro da própria estufa) foram pesadas novamente.

Com intenção de determinar os sólidos fixos, os cadinhos com as amostras secas foram colocados em mufla a 550 °C, pelo período de 4,5 horas.

Os sólidos totais, sólidos fixos e sólidos voláteis foram determinados a partir das equações 1- 3, respectivamente:

$$ST (\%) = \frac{A-B}{C-B} * 100 \quad (1)$$

$$SF (\%) = \frac{D-B}{A-B} * 100 \quad (2)$$

$$SV (\%) = \frac{A-D}{A-B} * 100 \quad (3)$$

Onde:

A = peso amostra seca + cadinho (g)

B = peso cadinho (g)

C = peso amostra úmida + cadinho (g)

D = peso amostra calcinada + cadinho (g)

4.2 BIODIGESTÃO ANAERÓBIA

Conquista-se tempo na decomposição de matéria orgânica adicionando-se inóculo residual de outro processo de digestão anaeróbia, porque é fornecido ao material uma população de microrganismos já adaptados, agitando a

população de microrganismos (XAVIER e JÚNIOR, 2010).

Para esse estudo foi adicionado inóculo proveniente de biodigestor que opera com dejetos de bovinos e suínos, disponibilizado pela equipe do CIBIOGÁS. O material recebe diversas substâncias distintas para que existam várias classes de bactérias. Segundo dados fornecidos pelo CIBIOGÁS, a amostra de inóculo possuía 63,71% de sólidos voláteis e 4,26% de sólidos totais, a normativa utilizada para esta caracterização foi a VDI 4630.

A proporção entre inóculo e dejetos foi escolhida baseada em estudos de experimentos de inóculos, objetivando-se obter o pico de geração de biogás já nos primeiros dias. Como a análise era feita em triplicata foram montados três reatores para cada análise. As amostras foram de:

- I. Inóculo puro: 50 ml do inóculo puro.
- II. Mistura entre dejetos de gado de pasto e inóculo: 50 ml de mistura, na proporção de 3/5 dejetos e 2/5 inóculo.
- III. Mistura entre dejetos de gado confinado e inóculo: 50 ml de mistura, na proporção de 3/5 dejetos e 2/5 inóculo.

Após a preparação das misturas nas proporções definidas acima, foi adicionado nitrogênio aos reatores, durante um minuto, com o objetivo de retirar todo o oxigênio presente no sistema reacional. Os reatores foram montados como pode ser observado na Figura 1 Figura 6:

Figura 6 - Reatores montados



Fonte: Autora

O pH das amostras foram determinados utilizando um medidor modelo mPa 210, os dejetos foram analisados de forma individual, também foram averiguados os conteúdos dos três padrões de reatores.

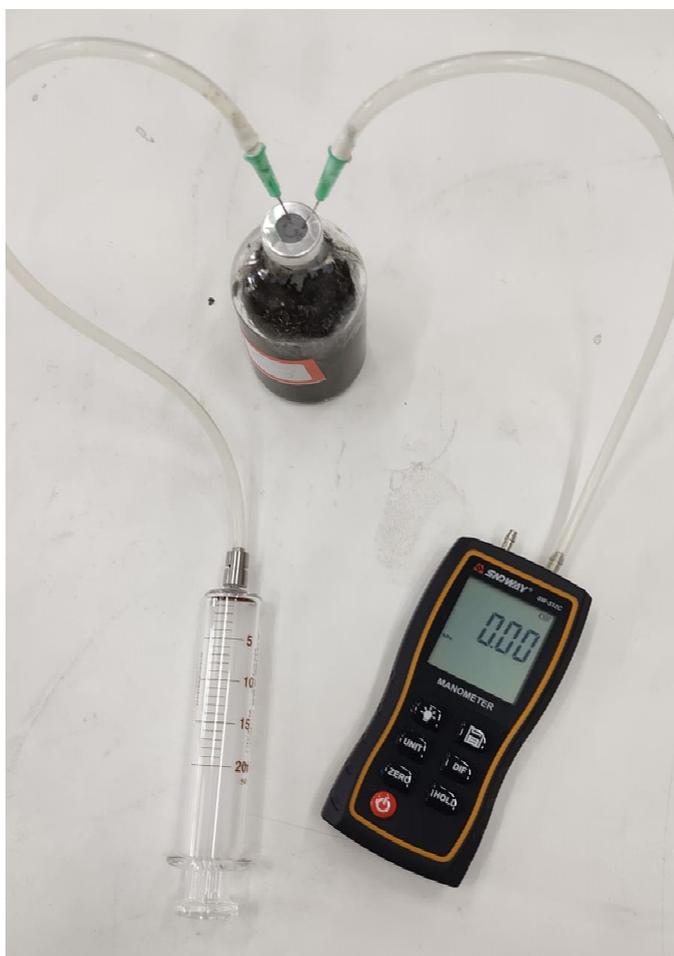
A pressão atmosférica considerada no dia em que foram executados os experimentos foi de 101,7 kPa (WEATHER ONLINE, 2022), e a temperatura era a ambiente na data de 30/07/2022.

Após o lacre dos reatores, eles foram inseridos em uma estufa de modelo Lucadema Luca – 80/64 na temperatura de 37 °C, esta temperatura foi escolhida para que o reator operasse na temperatura mesofílica (ideal para os microrganismos). Na estufa os reatores foram monitorados por 21 dias.

As medições de pressão e volume de gás produzido foram feitas diariamente. As averiguações diárias foram de pressão e volume geradas pelo dejetos no reator, sendo a pressão medida antes da retirada do gás.

A pressão considerada foi a medida após a retirada dos reatores da estufa. O gás era coletado até que notava-se que a pressão havia zerado. Dessa forma garantiu-se que todo gás produzido no dia anterior foi retirado, para que as averiguações fossem da produção de um único dia. A pressão após a retirada de volume foi averiguada da forma como pode ser visto na Figura 7.

Figura 7 - Averiguação em reator



Fonte: Autora

5 RESULTADOS

Notou-se que os dois tipos de rejeitos que são objetos de estudo, possuíam características distintas, pois enquanto o gado de pasto se alimenta predominantemente de pastagem, o gado confinado recebe uma alimentação mais concentrada em nutrientes baseada em ração animal.

5.1 CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS

O pH das amostras de misturas dejetos+inóculo, e bem como as amostras puras foi analisado e estão descritos na Tabela 4.

Tabela 4 – pH obtidos para as amostras in natura e amostras nos retiros de biodigestão

Material	pH
Inóculo puro	8,56
Mistura entre dejetos de gado de pasto e inóculo	8,58
Mistura entre dejetos de gado confinado de pasto e inóculo	8,51
Dejetos gado pasto	8,25
Dejetos gado confinado	8,38

Fonte: Autora

Constatou-se através do pH que todas as amostras são básicas, possuindo valor bem próximo entre si. O meio deve permanecer-se neutro, o pH ótimo para o metabolismo das bactérias metanogênicas está em torno de 7,0 (SAWAZAK, TEIXEIRA e MORAES, 1985).

A partir das equações 1 a 3 foram obtidos os valores percentuais dos sólidos totais, fixos e voláteis respectivamente. Encontrando o valor médio da triplicata e calculando o desvio padrão amostral, obtém-se as Tabelas 5 e 6, que determinam os teores sólidos totais, sólidos fixos e sólidos voláteis para as amostras de gado pasto e confinado, respectivamente.

Tabela 5 - Teor de sólidos das amostras de gado pasto

Amostra	Sólidos totais (%)	Sólidos fixos (%)	Sólidos voláteis (%)
Gado pasto	13,13	21,34	78,66
Desvio padrão	0,38	4,58	4,58

Fonte: Autora

Tabela 6 – Teor de sólidos das amostras de gado confinado

Amostra	Sólidos totais (%)	Sólidos fixos (%)	Sólidos voláteis (%)
Gado confinado	16,16	6,39	93,61
Desvio padrão	0,91	3,45	3,45

Fonte: Autora

Os valores percentuais calculados correspondem à umidade das amostras para a diferença de 100% nos sólidos totais, perdida durante a secagem inicial em estufa e a calcinação na mufla.

A Tabela 7 correlaciona os valores encontrados nas referências, com os valores obtidos pela autora.

Tabela 7 - Comparação do teor de sólido obtidos

Amostra	Sólidos totais (%)	Sólidos fixos (%)	Sólidos voláteis (%)
Gado pasto (Autora)	13,13	21,34	78,66
Gado confinado (Autora)	16,16	6,39	93,61
CIBIOGÁS	8	20	80
EMBRAPA	13,95	25	75

Fonte: Autora

Analisando os resultados obtidos em cada referencial nota-se que são

distintos. Além do que o gado confinado possui uma maior divergência nos valores do que o gado de pasto, isso se deve pois os demais estudos comparativos não foram produzidos com dejetos de gado confinado e sim gado de pasto. Os sólidos totais encontrados para o gado confinado foram mais do que o dobro com 16,16%, contra 8% encontrado pelo CIBILOGÁS.

As metodologias utilizadas para averiguação de dados apesar de serem parecidas possuem diferenças como a temperatura e tempo na mufla por exemplo, essas pequenas diferenças possuem influência nos resultados. Ademais os pastos em que vivem os bovinos não são perfeitamente iguais em composição, plantas distintas possuem propriedades específicas distintas.

A vaca de leite é um animal com quatro estômagos e um complexo processo digestivo em seis etapas. Na primeira etapa de ruminação reduz-se o tamanho das fibras e expõe-se os açúcares do alimento a fermentação microbiana, nos dois primeiros estômagos o retículo-rúmen, onde encontram-se uma grande população de microrganismos. O rúmen proporciona um ambiente anaeróbico que favorece o crescimento de algumas bactérias específicas, essas bactérias impactam na digestão do alimento e conseqüentemente na formação do dejetos (WATTIAUX e HOWARD). As particularidade das espécies de plantas são diferentes e elas também recebem tratamento diferente em seus pastos, tais diferenças impactam em como o alimento é recebido e processado pelo animal, repercutindo no dejetos e nos resultados de caracterização.

Pesquisas feitas no Laboratório de Ciência e Tecnologia de Carne da Embrapa Pecuária Sul, lideradas pela pesquisadora Élen Nalério, confirmam que o sistema de criação e terminação que o animal recebe interferem diretamente nas suas características. Para ela:

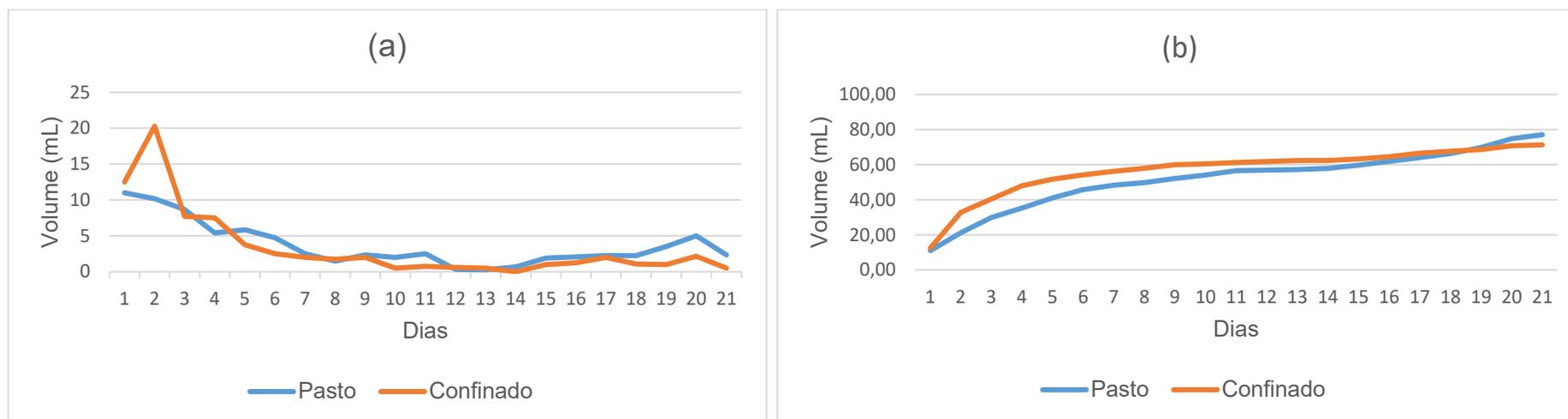
“Os bovinos são animais naturalmente prontos para fazer a digestão de fibras, de pasto. Para fazer a digestão de grãos, eles precisam passar por uma adaptação. Essa variação de alimentação faz com que sejam formadas gorduras totalmente diferentes” (NALÉRIO, 2022).

5.2 BIODIGESTÃO ANAERÓBIA

No Gráfico 2 pode-se visualizar um comparativo do valor médio para os valores de volume de gás produzido diariamente e o valor médio acumulado. O volume no acumulado é a soma dos volumes produzidos diariamente.

A análise do volume de gás produzido a partir dos dejetos foi feita também em triplicata, no entanto, foi constatado vazamento em um dos reatores alimentado com dejetos de gado confinado. Sendo assim, para este dejetos em específico, os resultados apresentados se referem à média entre apenas dois reatores. O comportamento de volume e pressão no interior deste reator está descrito nos Apêndices A e B, por essa ordem.

Gráfico 2- Volume diário (a) e volume acumulado (b) para os dejetos de gado de pasto e confinado



Fonte: Autora

Entende-se mediante as Figuras 9 (a) e 9 (b) que inicialmente o dejetos de gado confinado teve uma produção diária maior, acumulando mais gás, porém o dejetos de gado de pasto produziu mais no decorrer do tempo.

Observando graficamente o comportamento de uma mistura de dejetos de bovino leiteiro com 40% de inóculo, assim como as analisadas nesse experimento. Pode-se notar picos de produção de biogás semelhantes aos da **Erro! Fonte de referência não encontrada.** – (a), porém a produção do presente estudo foi maior, provavelmente devido à temperatura do processo de digestão empregada pelos autores, de 20°C (JUNIOR, PAES e ALVES, 2018).

Neste projeto o inóculo foi apenas examinado para observação de suas características, o estudo comportamento do inóculo puro é útil para se entender qual a sua influência na biodigestão. Possibilitando a compreensão de qual quantidade de produção de biogás é oriunda realmente do dejetos e qual provém do inóculo em dimensionamentos de biodigestores em projetos futuros.

O volume acumulado de gás produzido no reator I (50 ml inóculo puro) foi averiguado e pode ser observado na Tabela 8, por meio dele foi calculada a produção de 40 mL de inóculo. A produção de gás acumulada pelos reatores II (dejetos gado pasto + inóculo) e III (dejetos gado confinado + inóculo) é demonstrada na Tabela 8 desconsiderando a produção pelos 40 mL de inóculo na mistura.

Tabela 8 – Volume acumulado de biogás produzido

	Volume acumulado (mL)	Desvio padrão (%)
Inóculo	18,2	2,18
Pasto	62,56	3,06
Confinado	56,74	4,93

Fonte: Autora

Observa-se a partir através dos resultados dos cálculos que o gado de pasto promoveu uma produção maior de gases. Esse resultado vem na contramão do observado a partir da caracterização dos resíduos.

O teor de sólidos voláteis do gado de pasto foi de 78,66%, enquanto

o teor de sólidos do gado confinado foi de 93,61%. Uma vez que esse percentual de voláteis é um parâmetro da quantidade de matéria orgânica que pode se converter em biogás, pois ele quantifica os substratos para as bactérias metanogênicas produzirem o metano. Era esperado conforme a caracterização dos dejetos que o gado confinado obtivesse uma maior geração de biogás. Entretanto considerando-se os desvios padrão das duas amostras de pasto (3,06%) e confinado (4,93%), os valores podem ser considerados iguais.

Utilizando-se dos percentuais de sólidos voláteis e sólidos totais obtidos da Tabela 7 e do volume acumulado mostrado na Tabela 8, foram calculados os potenciais de geração de biogás para os SV e ST, os valores podem ser vistos na Tabela 9.

Tabela 9 - Potencial de geração de biogás

	Potencial SV (mL/g SV)	Potencial ST (mL/g ST)
Pasto	15,96	95,61
Confinado	11,97	69,33

Fonte: Autora

O potencial de geração de biogás calculado foi maior para o dejetos de gado de pasto do que para o dejetos de gado confinado, condizendo com os valores averiguados para o volume acumulado nas amostras de dejetos.

A averiguação de volume obtido possui um valor muito próximo, mas o gás coletado não possui uma mesma composição para o resíduo de confinado e de pasto. Como explicado anteriormente neste estudo a composição do gás impacta no percentual de metano e no PCI que serão determinantes na capacidade calorífica do biogás, mesmo com os valores gerados de volume na mesma faixa entende-se que o gado confinado oferece um maior qualidade na geração de biogás devido ao seu maior

percentual de sólidos voláteis.

Em estudo semelhante e onde se analisava dejetos de gado leiteiro confinado, *Compost Barn* e de pasto, foi analisado o gás gerado e não somente a quantidade de gás como no presente projeto. O gado no sistema de confinamento *Compost Barn* resultou em melhores desempenhos nas características potenciais de geração de biogás, observou-se as quantidades de volume acumulado foram próximas (RIPP, 2019).

O gado *Compost Barn* vive num sistema de confinamento, porém é feita a compostagem de materiais no solo, a criação é pensada de maneira ser mais confortável para o animal e o animal possui mais espaço que no confinamento tradicional (EDUCA POINT, 2019).

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Futuros projetos podem utilizar os dados obtidos neste trabalho para estimar a produção de biogás em fazendas e indústrias que produzam leite. Analisando as características de cada propriedade como quantidade de bovinos, necessidades individuais e comportamento sazonal de cada produtos.

Com um local com disponibilidade de dejetos, as opções são grandes de aplicação do biogás como combustível, ele pode ser fonte de energias como térmica, mecânica, elétrica. Simplesmente dimensionar um projeto que atenda a demanda do produtor de laticínio.

Ademais seria interessante uma análise da composição de gases produzidos por bovinos leiteiros analisando-se a composição do biogás produzido, juntamente com o volume acumulado.

7. CONCLUSÕES

A bioenergia é um instrumento para redução de emissão de gases poluentes na atmosfera, buscando assim diminuir os impactos climáticos e ambientais causados. A oferta de biomassa local determina qual tipo de biocombustível é a mais atrativa a produção.

Aplicando a biodigestão anaeróbica, nos resíduos bovinos, tem-se uma boa solução, pois reduz o impacto ambiental do processo produtivo, o tornando mais sustentável. Este método é altamente eficiente para reciclagem de recursos e fechamento do ciclo de produção. Pois, essa matéria orgânica residual que antes seria descartada, pode se tornar fonte energética e seu remanescente ainda se tornar biofertilizante.

Foram analisadas neste trabalho, as diferenças entre dois tipos de dejetos resultantes dos dois principais tipos de produção do gado leiteiro, para que os produtores de leite obtenham mais conhecimento, e consigam aplicar a bioenergia no processo de fabricação do produto. Deste modo, duas biomassas, uma de dejetos de pasto com alimentação livre, e primordialmente natural, a outra de gado confinado com alimentação controlada composta majoritariamente de silagem e ração, foram caracterizadas e comparadas para descobrir suas características e qual o volume da sua produção de biogás. Facilitando assim, a escolha de quais melhores condições para a produção de biogás. Assim, os resultados foram comparados e chega-se à conclusão que os resultados do teor de sólidos predizia que a amostra de dejetos de bovino confinado ofereceria uma maior geração de biogás. Entretanto constatou-se que os animais que vivem livres tiveram uma maior produção, considerando o desvio padrão os valores estão na mesma faixa de produção de volume acumulado de biogás.

Não era esperado uma maior produção de biogás no dejetos de gado de pasto conforme os resultados da caracterização, porém os valores de produção são muito próximos e o presente estudo não analisou as características do biogás gerado somente a sua quantidade. Entende-se que ainda que próximos no volume acumulado que oferece o melhor biogás é o dejetos de gado confinado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(ANEEL), A. N. D. E. E. **Atlas de energia elétrica do Brasil. 2.ed.** Biomassa. Brasília, p. 243. 2005.

ABNT. **Trabalho de Conclusão de Curso.** Associação brasileira de normas técnicas. [S.l.]. 2022.

ANP. Biocombustíveis. **Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis**, 11 dez. 2020. Disponível em: <<https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/qualidade-de-produtos/biocombustiveis#:~:text=Biocombust%C3%ADveis%20s%C3%A3o%20derivados%20de%20biomassa,tipo%20de%20gera%C3%A7%C3%A3o%20de%20energia.>>. Acesso em: 11 maio 2022.

BEDIA, J. et al. A Review on the Synthesis and Characterization of Biomass-Derived Carbons for Adsorption of Emerging Contaminants from Water. **MDPI**, 2018. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2311-5629/4/4/63?type=check_update&version=2>. Acesso em: 12 jul. 2022.

BIODISEL BR. PróAlcool - Programa Brasileiro de Álcool, 29 jan. 2006. Disponível em: <<https://www.biodieselbr.com/proalcool/pro-alcool/programa-etanol#:~:text=O%20Programa%20Nacional%20do%20%C3%81lcool,da%20pol%C3%ADtica%20de%20combust%C3%ADveis%20automotivos.>>. Acesso em: 12 maio 2022.

BREEM ES. LOS SECTORES MÁS CONTAMINANTES DEL PLANETA Y SUS SOLUCIONES, 01 jun. 2021. Disponível em: <<https://breeam.es/sectores-mas-contaminantes-del-planeta/>>. Acesso em: 23 maio 2022.

CANAL RURAL. Destaque na produção mundial de leite, Brasil ainda tem dificuldade para exportar, 08 jul. 2021. Disponível em: <<https://www.canalrural.com.br/noticias/leite-brasil-maiores-produtores-dificuldade-exportar/>>. Acesso em: 13 jul. 2022.

CASTAÑON, N. J. B. **Biogás originado a partir dos rejeitos rurais.** Universidade de São Paulo. São Paulo. 2002.

CHAI, A. **IMPLEMENTAÇÃO DE UM BIODIGESTOR EM UMA PROPRIEDADE RURAL.** UNILA. FOZ DO IGUAÇU, p. 48. 2022.

CIBIOGÁS. **Panorama do Biogás no Brasil 2020.** Foz do Iguaçu, p. 10. 2021.

CIBIOGÁS. O que é Biogás? **Cibio gás energias renováveis**, 2022. Disponível em: <<https://cibio gas.org/blog-post/o-que-e-biogas/#:~:text=O%20biog%C3%A1s%20%C3%A9%20um%20tipo,parte%20%C3%A9%20composta%20de%20metano.>>. Acesso em: 12 maio 2022.

CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. E. S.; GÓMEZ, E. O. **Biomassa para energia**. Campinas: UNICAMP, 2008. 733 p.

DERAL. **NÚMEROS DA PECUÁRIA PARANAENSE - Ano 2021**. Paraná Governo do Estado. [S.l.], p. 9. 2021.

EDUCA POINT. Modelos de biodigestores e viabilidade econômica. **EDUCA POINT**, 28 dez. 2018. Disponível em: <<https://www.educapoint.com.br/blog/pecuaria-geral/modelos-biodigestores-viabilidade-economica/#:~:text=Isso%20%C3%A9%20feito%20de%20um,inviabilizou%20a%20difus%C3%A3o%20dessa%20tecnologia.&text=Assim%2C%20um%20modelo%20que%20veio,biodigestor%20mais%20util>>. Acesso em: 13 maio 2022.

EDUCA POINT. Compost barn: o que é e quais suas vantagens, 29 out. 2019. Disponível em: <<https://www.educapoint.com.br/blog/pecuaria-leite/compost-barn-o-que-e-quais-suas-vantagens/>>. Acesso em: 26 jul. 2022.

EMAS JR. CONSULTORIA. BIODIGESTOR: as vantagens da produção de energia com o BIOGÁS. **EMAS JR. Consultoria**, 1 nov. 2019. Disponível em: <<https://emasjr.com.br/blog/2019/11/01/biodigestor-para-que-serve-e-sua-producao-de-energia-com-o-biogas/>>. Acesso em: 13 maio 2022.

EMBRAPA. Biodigestão. **EMBRAPA Suínos e Aves**, 2022. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/suinos-e-aves/biogasfert/biogas/biodigestao>>. Acesso em: 13 maio 2022.

ENERMAC. Qual É A Composição Do Biogás?, 2022. Disponível em: <<https://enermac.com.br/qual-e-a-composicao-do-biogas>>. Acesso em: 27 maio 2022.

EPA - UNITED STATES. Global Greenhouse Gas Emissions Data. **Environmental Protection Agency - United States**, 2020. Disponível em: <<https://www.epa.gov/ghgemissions/global-greenhouse-gas-emissions-data>>. Acesso em: 3 maio 2022.

FARRET, F. A. **Aproveitamento De Pequenas Fontes De Energia Elétrica**. Santa Maria: UFSM, 1999. 320 p.

FGV ENERGIA. Dados - Matriz Energética, 2022. Disponível em: <<https://fgvenergia.fgv.br/dados-matriz-energetica>>. Acesso em: 3 maio 2022.

GALVARRO, S. F. S. O que é gaseificação. **UNIVICOSA - Centro Universitário de Viçosa**, 19 abr. 2016. Disponível em: <<https://www.univicosa.com.br/uninoticias/acervo/e4542ca0-55bf-4f4e-975a-b9431505d37e>>. Acesso em: 12 maio 2022.

HUSSAIN, G. What You Should Know About the World's Top Dairy Companies. **sentient media**, 16 mar. 2022. Disponível em: <<https://sentientmedia.org/dairy-companies/>>. Acesso em: 13 jul. 2022.

IDR - PARANÁ. Bovinocultura de Leite. **Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná**, 2022. Disponível em:

<<https://www.idrparana.pr.gov.br/Pagina/Bovinocultura-de-Leite#:~:text=O%20Estado%20do%20Paran%C3%A1%20%C3%A9,com%20at%C3%A9%20250%20litros%2Fdia.>>. Acesso em: 10 maio 2022.

IEMA. Combustíveis fósseis e atividade agropecuária elevam emissões no Sul.

Instituto de Energia e Meio Ambiente, abr. 2021. Disponível em:

<<https://energiaeambiente.org.br/combustiveis-fosseis-e-atividade-agropecuaria-elevam-emissoes-no-sul-20210430>>. Acesso em: 4 maio 2022.

JUNIOR, S. R. D. L.; PAES, J. L.; ALVES, T. B. S. **EFEITO DA ADIÇÃO DE INÓCULO NO PROCESSO DE BIODIGESTÃO**. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, p. 10. 2018.

KUNZ, A.; STEINMETZ, R. L. R.; AMARAL, A. C. D. **Fundamentos da Digestão Anaeróbia, Purificação do Biogás, Uso e Tratamento do Digestato**. Concórdia: [s.n.], 2019. 214 p.

LIMA, H. Q. D. Fundamentos do Processo de Digestão Anaeróbia. **Energia e Biogás**, 30 ago. 2020. Disponível em: <<https://energiaebiogas.com.br/fundamentos-do-processo-de-digestao-anaerobia>>. Acesso em: 13 jul. 2022.

LINS, L. P.; MITO, J. Y. L.; FERNANDES, D. M. **COMPOSIÇÃO MÉDIA DO BIOGÁS DE DIFERENTES TIPOS DE BIOMASSA**. IV Simpósio Internacional sobre Gerenciamento de Resíduos Agropecuários e Agroindustriais. Rio de Janeiro: [s.n.]. 2015. p. 4.

LORA, E. E. S.; VENTURI, O. J. **Biocombustíveis**. Rio de Janeiro: Interciência, v. 1, 2012. 588 p.

MALICO, I. Energia da biomassa. **Geoboletim**, Evora - Portugal, n. 7, 15 jan. 2008.

MARAFON, A. C. et al. **Uso da biomassa para a geração de energia**. EMBRAPA. Acaraju, p. 30. 2016.

MARTINEZ, D. G.; BÜHRING, G. M. B.; MÜLLER, R. **Panorama de tecnologias aplicadas no agronegócio de biogás e biometano**. BIOGÁS BRASIL. Foz do Iguaçu, p. 40. 2019.

MILKIEWICZ, L. Biogás no Paraná: Entenda este promissor setor do Agro. **Notícias Agrícolas**, 27 jul. 2021. Disponível em:

<<https://www.noticiasagricolas.com.br/artigos/artigos-geral/293538-biogas-no-parana-entenda-este-promissor-setor-do-agro-por-larissa-milkiewicz.html#.Yn2qOejMLIU>>. Acesso em: 12 maio 2022.

NALÉRIO, E. **Carne produzida no bioma Pampa conquista selo de identificação**. EMBRAPA. [S.I.]. 2022.

PASSARI, L. M. Z. G. et al. ESTATÍSTICA APLICADA À QUÍMICA: DEZ DÚVIDAS COMUNS. **Química Nova**, Campinas, v. 34, n. 5, p. 5, fev. 2011.

PASSARINHO, N. Brasil é 4º no mundo em ranking de emissão de gases poluentes desde 1850. **BBC NEWS BRASIL**, 27 out. 2021. Disponível em: <<https://www.bbc.com/portuguese/geral-59065359>>. Acesso em: 23 maio 2022.

PIRES, M. T. Hominídeos já usavam fogo há 1 milhão de anos, diz estudo. **Veja**, 2 abr. 2012. Disponível em: <<https://veja.abril.com.br/ciencia/hominideos-ja-usavam-fogo-ha-1-milhao-de-anos-diz-estudo/>>. Acesso em: 3 maio 2022.

PORTAL DO BIOGÁS. FORMAS DE USO DO BIOGÁS, 2022. Disponível em: <<https://www.portaldobiogas.com/formas-de-uso-do-biogas/#:~:text=As%20formas%20de%20uso%20do%20biog%C3%A1s%20depende%20entre%20outras%20coisas,possui%20o%20maior%20valor%20agregado.>>>. Acesso em: 27 maio 2022.

RABELLO, T. País é referência mundial em fontes de energia renovável. **Estadão**, 24 nov. 2018. Disponível em: <<https://economia.estadao.com.br/noticias/geral,pais-e-referencia-mundial-em-fontes-renovaveis,70002619239>>. Acesso em: 12 maio 2022.

RBA AMBIENTAL. "¿QUÉ ES LA BIOENERGÍA?", 2022. Disponível em: <<http://www.rba-ambiental.com.ar/bioenergia/que-es-la-bioenergia/>>. Acesso em: 3 maio 2022.

REIS, P. Tipos de Biocombustíveis. **Portal energia - Energias renováveis**, 05 dez. 2018. Disponível em: <<https://www.portal-energia.com/tipos-de-biocombustiveis/>>. Acesso em: 12 maio 2022.

RIPP, P. G. **PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE DIFERENTES SISTEMAS DE CRIAÇÃO DE BOVINOCULTURA DE LEITE**. UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ. Medianeira, p. 26. 2019.

SAWAZAK, H. E.; TEIXEIRA, J. P. F.; MORAES, R. M. D. **O pH E A TEMPERATURA NA PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE CASCA DE ARROZ**. Campinas, p. 7. 1985.

SHAHBANDEH, M. Global dairy industry - statistics & facts. **STATISTA**, 05 jul. 2022. Disponível em: <<https://www.statista.com/topics/4649/dairy-industry/#dossierKeyfigures>>. Acesso em: 05 jul. 2022.

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American public health association. Washington, p. 1535. 2017.

STATISTA. Major producers of cow milk worldwide in 2021, by country, 2022. Disponível em: <<https://www.statista.com/statistics/268191/cow-milk-production-worldwide-top-producers/>>. Acesso em: 13 jul. 2022.

UNILA. **Modelos de Trabalho de Conclusão de Curso**. Universidade Federal da Integração Latino - Americana. Foz do Iguaçu, p. 25. 2022.

VASCONCELLOS, G. F. **Biomassa - A eterna energia do futuro**. São Paulo :

SENAC, 2002. 142 p.

VGR. Biodigestor: para que serve, tipos, vantagens, desvantagens. **VG Resíduos**, 09 ago. 2021. Disponível em:

<[WATTIAUX, M. A.; HOWARD, W. T. **Processo digestivo na vaca de leite**. University of wisconsin-madison. \[S.l.\], p. 4.](https://www.vgresiduos.com.br/blog/biodigestor/#:~:text=O%20biodigestor%20%C3%A9%20um%20equipamento%20fechado%20no%20qual%20ocorre%20%C3%A0,org%C3%A2nica%20%C3%BAmida%20presente%20no%20equipamento.>. Acesso em: 13 maio 2022.</p></div><div data-bbox=)

WEATHER ONLINE. Weather online, 2022. Disponível em:

<

XAVIER, C. D. A. N.; JÚNIOR, J. D. L. **Parâmetros de dimensionamento para biodigestores batelada operados com dejetos de vacas leiteiras com e sem uso de inóculo**. [S.l.], p. 12. 2010.

APÊNDICES

APÊNDICE A – AVERIGUAÇÕES DE VOLUME

VOLUME (ml)										
Dia	Horário	1° Inóculo	2° Inóculo	3° Inóculo	1° Pasto	2° Pasto	3° Pasto	1° Confinado	2° Confinado	3° Confinado
0	20:33	0								
1	12:47	11	10	8,5	13	6	14	9	16	6
2	13:35	4	2	2,5	9,5	12	9	18,5	22	3
3	14:00	1,5	0	1	10	5	11	9,9	5,5	3
4	12:30	0	0	0	7	3,2	6	10	5	1,5
5	12:10	0	0	0	5,5	6	6	2,5	5	2
6	12:00	0,5	0	0	1	6	7,2	1	4	2,5
7	11:20	0,5	2,2	2	0,5	2,5	4,5	2	2	0,3
8	11:45	0	0,5	0,2	1,9	0,5	2	2	1,5	0
9	13:05	0	0	0,5	3	1	3	1	3	1
10	14:15	0,4	0,8	0,5	4	0,5	1,5	0,5	0,5	1
11	12:30	0,5	2,5	2	2,5	0,1	4,9	0,5	1	0
12	13:30	0	0	0	0,5	0	0,5	0	1,2	0
13	12:55	0	0	0	0,5	0	0,3	0	1	0
14	13:50	0	0	0	0	2	0	0	0	0
15	13:15	0	0	0	1,2	0,5	4	1	1	0
16	12:30	0	0	0	2	1	3,2	1	1,5	0,5
17	12:50	0	0	0	1,5	1,2	4	1	3	0
18	13:45	0	0	0	0,5	1,2	5	0,1	2,05	0,5
19	14:05	0	0	0	0,8	4,5	5,2	0	2	2
20	12:45	0	1	0	4,37	3,91	6,69	0,9	3,38	1,54
21	13:30	0	0	0	1	2	4	0	1	1,5

Fonte: Autora

APÊNDICE B – AVERIGUAÇÕES DE PRESSÃO

PRESSÃO (k Pa)										
Dia	Horário	1° Inóculo	2° Inóculo	3° Inóculo	1° Pasto	2° Pasto	3° Pasto	1° Confinado	2° Confinado	3° Confinado
0	20:33	101,7								
1	12:47	16,02	16,4	15,99	18,36	18,82	20,67	18,56	23,05	31,79
2	13:35	6,71	4,43	5,02	9,5	12	9	18,5	22	3
3	14:00	3,07	0,75	2,08	15,68	8,35	15,06	15,01	9,96	4,64
4	12:30	1,38	0,48	1,86	12,22	5,25	10,62	15,92	9,93	4,38
5	12:10	0,57	0,7	1,39	2,99	10,13	10,18	5,24	7,51	3
6	12:00	0,49	0,31	0,73	1,7	10,01	11,75	2,43	7,15	1,74
7	11:20	0,06	0,13	0,96	0,99	3,98	8,25	3,52	3,03	1,24
8	11:45	0	0,79	0,32	2,95	0,96	3,62	2,91	2,88	0,43
9	13:05	0,3	0,4	0,2	5,22	0,73	5,06	1,01	3,9	0,66
10	14:15	0,11	0,64	0,26	5,65	0,38	2,45	1,08	1,14	0,52
11	12:30	0,11	0,33	2,94	4,31	0,11	5	0,48	2,55	0,21
12	13:30	0,07	0,07	0,08	0,39	0,05	1,15	0,17	2,61	0,05
13	12:55	0,15	0,12	0,08	1,07	0,07	1,44	0,17	2,18	0,18
14	13:50	0,15	0,84	0,43	1,63	0,76	4,46	1,25	1,78	0,48
15	13:15	0,15	0,32	0,21	1,32	1,02	6,66	1,74	2,02	0,6
16	12:30	0,02	0,54	0,09	4,19	1,95	5,8	2,11	3,16	1,24
17	12:50	0	0	0	2,71	2,78	6,76	2,12	4,74	0,53
18	13:45	0	0	0	1,44	2,57	7,73	1,56	4,08	1,3
19	14:05	0	0	0,11	2,03	7,4	9,3	0,63	4,27	4,16
20	12:45	0,01	1,92	1,47	4,37	3,91	6,69	0,9	3,38	1,54
21	13:30	0,02	0,54	0,18	2,64	4,19	7,16	0,64	2,31	2,94

Fonte: Autora