



Pró-Reitoria de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação
Mestrado Profissional em Tecnologia e Ambiente

Dissertação

**Potencial produção de biogás e geração de energia elétrica: de um sistema de tratamento
por lâmina d'água**

Roosevelt Duarte Junior

Araquari, 2022

Roosevelt Duarte Junior

Potencial produção de biogás e geração de energia elétrica: de um sistema de tratamento por lâmina d'água

Dissertação apresentada ao Mestrado Profissional em Tecnologia e Ambiente do Instituto Federal Catarinense, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências (área de concentração: Ciências Ambientais).

Orientador: Prof. Dr. Übersson Boaretto Rossa

Coorientadora: Dr^a Luana Marcele Chiarello

Araquari, 2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática do ICMC/USP, cedido ao IFC e
adaptado pela CTI - Araquari e pelas bibliotecas do Campus de Araquari e Concórdia.

D812p Duarte Junior, Roosevelt
Potencial produção de biogás e geração de energia
elétrica: de um sistema de tratamento por lâmina
d'água / Roosevelt Duarte Junior; orientador Überson
Boaretto Rossa; coorientadora Luana Marcele
Chiarello. -- Araquari, 2023.
82 p.

Dissertação (mestrado) - Instituto Federal
Catarinense, campus Araquari, , Araquari, 2023.

Inclui referências.

1. Inóculo. 2. Digestão anaeróbica. 3. BMP. 4.
Fontes energéticas. I. Boaretto Rossa, Überson , II.
Marcele Chiarello, Luana. III. Instituto Federal
Catarinense. . IV. Título.

Roosevelt Duarte Junior

Potencial produção de biogás e geração de energia elétrica: de um sistema de tratamento por lâmina d'água

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências, Curso de Pós-Graduação em Tecnologia e Ambiente, Pró-Reitoria de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação, Instituto Federal Catarinense.

Data da Defesa: 14/12/2022

Banca examinadora:

Prof. Dr. Übersson Boaretto Rossa (Orientador)

Doutor em Engenharia Florestal pela Universidade Federal do Paraná – UFPR
Instituição de vínculo: Instituto Federal Catarinense - IFC, Campus Araquari

Prof. Dr. Cleder Alexandre Somensi

Doutor em Ciência e Tecnologia Ambiental pela Universidade do Vale do Itajaí, UNIVALI
Instituição de vínculo: Instituto Federal Catarinense - IFC, Campus Araquari

Gerente Técnica do Laboratório de Análises de Combustíveis e Cromatografia da FURB e

Prof. Dr^a. Dilamara Riva Scharf

Doutora em Química pela Universidade Federal do Paraná – UFPR
Instituição de vínculo: Fundação Universidade Regional de Blumenau, FURB

Engenheira Química da FURB Dr^a. Luana Marcele Chiarello

Doutora em Química pela Universidade Federal do Paraná – UFPR
Instituição de vínculo: Fundação Universidade Regional de Blumenau, FURB



Emitido em 14/12/2022

DOCUMENTOS COMPROBATÓRIOS - CAMPUS ARAQUARI Nº 23/2022 - CCPGTA (11.01.02.31)

(Nº do Protocolo: NÃO PROTOCOLADO)

(Assinado digitalmente em 21/03/2023 19:12)

UBERSON ROSSA

CAGRIC/ARA (11.01.02.02.02.01.17)

Matrícula: ###042#9

Visualize o documento original em <https://sig.ifc.edu.br/documentos/> informando seu número: **23**, ano: **2022**, tipo: **DOCUMENTOS COMPROBATÓRIOS - CAMPUS ARAQUARI**, data de emissão: **09/03/2023** e o código de verificação: **9f014a0bd1**

Ao meu filho Theo e à minha esposa Leila.

**“O início da sabedoria é a admissão da própria ignorância. Todo o meu saber
consiste em saber que nada sei”.**

(Sócrates)

Agradecimentos

À Deus principalmente, pela oportunidade de viver e conviver com pessoas queridas, sempre iluminando meus caminhos e renovando as minhas esperanças.

À minha família, que sempre me incentivou, independente dos desafios, especialmente à minha esposa Leila e ao meu filho Theo, pelo grande apoio em todas as decisões da minha vida.

Ao Professor Überson Boaretto Rossa, pela parceria, confiança, disponibilidade, por sua dedicação na orientação e por oportunizar o meu crescimento intelectual, pelos seus ensinamentos acadêmicos e informais.

Ao Professor Cleder Alexandre Somensi, pelo apoio e suporte durante a condução do curso.

À Luana Marcele Chiarello, por sua disponibilidade e grande contribuição nas análises de cromatografia gasosa e desenvolvimento da dissertação.

À família de agricultores, que me possibilitou realizar o estudo em sua propriedade (granja) de codornas.

Ao Instituto Federal Catarinense e ao Curso de Pós-Graduação em Tecnologia e Ambiente, pela oportunidade da realização do curso.

Enfim, a todos aqueles que participaram direta ou indiretamente para que esse trabalho pudesse ser concluído.

Muito obrigado!

“A natureza pode suprir todas as necessidades do homem, menos a sua ganância.”

Mahatma Gandhi

Resumo

Duarte Junior, Roosevelt. **Potencial de produção de biogás e geração de energia elétrica de um sistema de tratamento por lâmina d'água.** 2022. número de folhas 82. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Curso de Pós-Graduação em Tecnologia e Ambiente, Pró-Reitoria de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação, Instituto Federal Catarinense, Araquari, 2022.

A coturnicultura é uma atividade que demanda baixo investimento e rápido retorno, por apresentar uma alta produção de ovos, sendo estes os principais produtos em escala industrial, já que a carne ainda é considerada exótica pelos consumidores. A utilização dos dejetos para a geração de energia por biodigestão anaeróbica pode significar uma tecnologia viável e promissora para obtenção de biogás originado dos sistemas de produções de animais confinados que demandam um elevado consumo de eletricidade. A crescente demanda por energia faz com que novas fontes energéticas sejam mais aproveitadas. Uma grande alternativa para o crescimento de novas fontes pode ser a utilização da biomassa em sistemas de biodigestão anaeróbica, em que o substrato orgânico é degradado e transformado em energia e biofertilizante. O estudo buscou investigar a utilização do dejetos líquido da coturnicultura (DLC) com sistema de tratamento por lâmina d'água e o seu potencial de produção de biogás e de geração de energia elétrica em biorreatores anaeróbicos de batelada. Nos resultados obtidos, utilizando o método de ensaio BMP (*Biochemical methane potential*), através de biorreatores em bancada de volume de 250 mL, e em condições mesófilas ($37\pm 2^{\circ}\text{C}$), foi constatado que a melhor monodigestão utilizada foi inóculo + substrato de 30 dias de deposição, com tempo de retenção hídrica de 45 dias, o qual apresentou maior produção de biogás ($0,00078476 \text{ Nm}^3$) e CH_4 ($0,000575 \text{ Nm}^3$). Quando comparados à proporção de 1 m^3 de biomassa do DLC, resultou numa produção $4,36 \text{ m}^3$ de biogás a cada 45 dias de retenção no biorreator. E quando convertido em energia elétrica através do uso de um motogerador utilizando como combustível o biogás produzido pelo DLC, obteve-se o valor de $9,30 \text{ kwh/dia}$ ou $104,64 \text{ kwh/45 dias}$.

Palavras-chave: Inóculo; Digestão anaeróbica; BMP; Fontes energéticas.

Abstract

Duarte Junior, Roosevelt. **Potential for biogas production and electricity generation of a water depth treatment system.** 2022. número de folhas 82. Dissertation (Master degree in Science) - Curso de Pós-Graduação em Tecnologia e Ambiente, Pró-Reitoria de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação, Instituto Federal Catarinense, Araquari, 2022.

Coturniculture is an activity that demands low investment and fast return, as it presents a high production of eggs, which are the main products on an industrial scale, since meat is still considered exoca by consumers. The use of manure for energy generation by anaerobic biodigestion may represent a viable and promising technology for obtaining biogas from confined animal production systems that demand high electricity consumption. The growing demand for energy means that new energy sources are better used. A great alternative for the growth of new sources can be the use of biomass in anaerobic biodigestion systems, in which the organic substrate is degraded and transformed into energy and bioferlizer. The study sought to investigate the use of quail farming liquid manure (DLC) with a water depth treatment system and its potential for producing biogas and generating electricity in anaerobic batch bioreactors. In the results obtained, using the BMP (Biochemical methane potenal) test method, through benchtop bioreactors with a volume of 250 mL, and in mesophilic conditions ($37\pm 2^{\circ}\text{C}$), it was found that the best monodigestion used was inoculum + substrate of 30 days of deposition, with water retention time of 45 days, which presented higher production of biogas (0.00078476 Nm^3) and methane (0.000575 Nm^3). When comparing the proportion of 1 m^3 of biomass from the DLC, it resulted in a production of 4.36 m^3 of biogas every 45 days of retention in the bioreactor. And when converted into electrical energy through the use of a motor generator using the biogas produced by the DLC as fuel, the value of 9.30 kWh/day or 104.64 kWh/45 days is obtained.

Keywords: Inoculum; anaerobic digestion; BMP; Energy sources.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Plantel das codornas em criação intensiva em gaiolas para a produção de ovos com sistema de tratamento de dejetos por lâmina d'água.....	12
Figura 2-Biorreatores de bancada instalados nas dependências do Laboratório de Química do Instituto Federal Catarinense, Campus de Blumenau.....	14
Figura 3-Reatores identificados e incubados na estufa com temperatura mesofílica durante os 45 dias de retenção.....	17
Figura 4-Seringa para coleta do gás e equipamento de cromatográfica.....	19
Figura 5- Média diária da produção de biogás para os biorreatores com dejetos líquidos da coturnicultura (DLC) a quatro condições: inoculo (T1), Inóculo + 15 dias deposição (T2), Inóculo + 30 dias deposição (T3) e Inóculo +40 dias deposição (T4).....	25
Figura 6- Porcentagem acumulada de biogás produzido por cada tratamento na linha do tempo.....	26
Figura 7- Produção acumulada de biogás e o comportamento do percentual médio de CH ₄ de todos os tratamentos durante o experimento.....	27
Figura 8- Cromatograma identificando os picos de CH ₄ e CO ₂	28
Figura 9-Avaliação do volume máximo acumulado de biogás e CH ₄ nos 15 primeiros dias de retenção no Biorreator.....	32
Figura 10-Avaliação do volume máximo acumulado de biogás e CH ₄ nos 30 primeiros dias de retenção no biorreator.....	33

Figura 11-Avaliação do volume máximo acumulado de biogás e CH ₄ nos 45 dias de retenção no biorreator.....	34
Figura 12-Localização da coturnicultura com sistema de tratamento por lâmina d'água no município de Massaranduba -SC.....	42
Figura 13-Produção do Biogás gerada através da biomassa do dejetos líquido da coturnicultura com 45 dias de retenção no biorreator.....	46

LISTA DE TABELA

Tabela 1-Parâmetros e os respectivos métodos que foram analisados nas amostras DLC frescos.....	13
Tabela 2- Apresenta os volumes definidos no experimento de inóculo e substrato.....	15
Tabela 3- Resultados das análises físico-química das amostras e inóculo enviados aos laboratórios.....	21
Tabela 4- Médias dos valores iniciais e finais de pH e condutividade elétrica.....	23
Tabela 5- Resultados da geração de biogás e CH ₄ no ensaio BMP após 15 dias.....	29
Tabela 6- Resultados da geração de biogás e CH ₄ no ensaio BMP após 30 dias.....	29
Tabela 7- Resultados da geração de biogás e CH ₄ no ensaio BMP após 45 dias.....	30
Tabela 8- Resultados da geração de biogás e CH ₄ no ensaio BMP após 45 dias de retenção no biorreator.....	45

Lista de Abreviaturas e Siglas

BMP	Biochemical Methane Potential
CH ₄	Gás metano
CO ₂	Gás carbônico
DBO	Demanda Biológica de Oxigênio
DIC	Delineamento Inteiramente Casualizado
DLC	Dejeto Líquido da Coturnicultura
DQO	Demanda Química de Oxigênio
KWh	Kilowatt hora
m ³	Metro cúbico
mL	Mililitro
TRH	Tempo de Retenção Hídrica
NmL	Normal mililitro (0°C, 1013 hPa)
Nm ³	Normal Metro cúbico (0°C, 1013 hPa)
Nm ³ /kgST	Normal Metro cúbico por quilograma de sólidos totais (0°C, 1013 hPa)
pH	Potencial Hidrogeniônico
ppm	Partes por Milhão
SMEWW	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater

SUMÁRIO

1. CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA E ESTADO DA ARTE.....	1
2. OBJETIVOS.....	5
2.1. Geral.....	5
2.2. Específicos.....	5
3. BIODIGESTÃO DO DEJETO DA COTURNICULTURA COM SISTEMA DE TRATAMENTO POR LÂMINA D'ÁGUA E POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS.....	6
3.1. Introdução.....	8
3.2. Materiais e Métodos.....	11
3.3. Resultados e Discussão.....	21
3.3.1. Caracterização dos Substratos Utilizados nos Ensaio BMPs.....	21
3.3.2. Avaliação de Produção Média Diária de Biogás.....	25
3.3.3. Porcentagem Acumulada de Biogás Produzido.....	26
3.3.4. Avaliação da Produção de Biogás e Metano.....	27
3.4. Conclusão.....	35
4. POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA COM O USO DO BIOGÁS PRODUZIDO ATRAVÉS DA BIOMASSA GERADA EM UMA COTURNICULTURA COM SISTEMA DE TRATAMENTO POR LÂMINA D'ÁGUA NA ZONA RURAL DE MASSARANDUBA/SC.....	37
4.1. Introdução.....	38
4.2. Materiais e Métodos.....	41
4.2.1. Determinação na produção de metano.....	43
4.2.2. Geração de energia elétrica a partir do biogás.....	43
4.3. Resultados e Discussão.....	44
4.3.1. Avaliação da Produção de Biogás e Metano.....	44
4.3.2. Avaliação de geração de energia elétrica a partir do biogás.....	46
4.4. Conclusão.....	47

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	49
6. REFERÊNCIAS.....	50
7. LISTA DE SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS.....	59
8. ANEXOS.....	60

1. CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA E ESTADO DA ARTE

O aumento constante das emissões do dióxido de carbono (CO₂) atmosférico indicam uma urgência em desenvolver soluções de energia renovável e limpa e, para tanto, as forças econômicas e de mercado que afetam as taxas de adoção de tecnologias energéticas devem ser consideradas (ROSA; ORDÓÑEZ, 2022).

O contínuo crescimento da população mundial e a sua demanda por alimentos fizeram uma grande pressão para o desenvolvimento do setor agropecuário, entretanto, não houve preocupação com os impactos ambientais negativos que essas atividades trazem ao meio ambiente, de forma que hoje se torna essencial a utilização de práticas sustentáveis para mitigar a emissão de gases do efeito estufa e reduzir a degradação ambiental (MIELE *et al.*, 2015).

Com passar dos anos, os produtores observaram a importância de tratar ou, pelo menos, armazenar os dejetos produzidos para posteriormente serem usados como fertilizantes em áreas agrícolas. O modelo mais adotado por muitos produtores sempre foi o uso de lagoas de estabilização para armazenar e também tratar os efluentes da atividade. A implantação das lagoas de estabilização consagrou-se no tratamento de efluente, pois, além do baixo custo e manutenção, mostra-se eficaz na remoção da matéria orgânica (DIAS *et al.*, 2006). Com a implantação desse sistema, acabou reduzindo a contaminação do solo e da água provocada pelos efluentes rurais. Porém, a lagoa de estabilização tem sua desvantagem, que é a emissão de gases do efeito estufa na atmosfera.

De acordo com o Plano setorial de mitigação e adaptação às mudanças climáticas para consolidação da economia de baixa emissão de carbono na agricultura, conhecido como Plano “ABC”, um sistema eficaz de tratamento de dejetos propicia uma redução na emissão de metano (CH₄), o que representa o equacionamento de um problema ambiental e também possibilita um aumento na renda dos agricultores, seja pelo composto orgânico produzido ou pela geração de energia automotiva, térmica e elétrica por meio do uso do biogás (BRASIL, 2012).

Compreende-se que um ótimo sistema de tratamento de dejetos deve ser aquele que minimiza o impacto negativo ao meio ambiente e maximiza os impactos positivos ao meio ambiente (recuperação dos recursos energéticos, aumento da produtividade e da sustentabilidade do produtor) (KUNZ; ENCARNAÇÃO, 2007).

De acordo com a União Brasileira de Avicultura (2008), os dejetos de poedeiras têm um grande potencial biológico, com um alto potencial de aproveitamento da matéria-prima para fertilizantes e fonte energética.

No Brasil, em 2020, existia um plantel de 16,7 milhões de codornas, sendo o estado do Espírito Santo o com maior rebanho de codornas, seguido respectivamente dos estados de São Paulo, Minas Gerais, Santa Catarina e Ceará (IBGE, 2020). Com o crescimento da atividade da coturnicultura de postura, há como consequência o aumento da geração dos dejetos das codornas.

O tratamento de dejetos da coturnicultura será abordado neste estudo, considerando a utilização de biodigestores, que é uma das tecnologias indicadas para os produtores de animais, os quais visam se adequar às leis relacionadas à Política Nacional do Meio Ambiente.

Os biodigestores anaeróbios são compostos por duas partes: uma câmara fechada, que permite a digestão da biomassa, e um gasômetro ou campânula que serve para armazenar o biogás e, por fim, tem-se um efluente rico em nutrientes (SALES FILHO, 2014). No interior do biodigestor é que acontecem todas as etapas de digestão anaeróbica e produção do gás. A digestão anaeróbica é um processo biológico que acontece em diversas etapas da degradação da matéria orgânica, com a finalidade de produzir biogás e digestato em ambientes sem a presença de oxigênio. Habitualmente, o processo acontece em quatro etapas: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese (CAPSON-TOJO *et al.*, 2016).

A implementação de biodigestores nos sistemas de produção animal é essencial, pois promovem o tratamento do resíduo e retornam parte da energia que seria perdida de volta ao sistema produtivo, através da queima do biogás (SILVA *et al.*, 2005; ORRICO *et al.*, 2007; SANTOS *et al.*, 2007).

O biogás foi descoberto no século XVIII, por Alessandro Volta, e iniciou sua produção em grande escala em biodigestores distribuídos pela China e Índia com o propósito de suprir as necessidades energéticas na zona rural (SILVEIRA, 1981). Atualmente a conversão energética do biogás pode ser uma solução para o grande volume de resíduos produzidos, pois traz ainda a redução do potencial tóxico das emissões de CH₄, e produz energia elétrica, agregando, desta forma, ganho ambiental e redução de custos (COSTA, 2002).

Segundo Milanez *et al.* (2018), o biogás está apresentando um crescimento considerável no Brasil, tendo em vista que, em 2016, o país tinha em torno de 120 MW de capacidade instalada para geração elétrica a partir do biogás, um volume seis vezes superior ao registrado em 2007. O biogás ainda possui a vantagem de ser gerado de modo contínuo, o que o difere da energia solar e eólica, sendo possível estocá-lo com baixo custo, seja como matéria-prima, ou como gás comprimido (MILANEZ *et al.*, 2018).

Na literatura, pode-se encontrar estudos com a objeção de verificar o potencial de produção de biogás através dos mais variados tipos de substratos utilizando-se a biodigestão anaeróbica.

No trabalho de Silva *et al.* (2021), os autores analisaram o potencial máximo de geração de biogás e CH₄ a partir das combinações de cama de codorna (substrato) + lodo granulado (inóculo), o que apresentou potencial para biogás (0,000220 Nm³.g⁻¹VS) e CH₄ (0,000086 Nm³.g⁻¹VS). Lucas Jr. *et al.* (1997) *apud* Lucas Jr. e Santos (2000) estudaram a biodigestão anaeróbia dos resíduos da coturnicultura em biodigestores contínuos, sob quatro tempos de retenção hídrica (TRH) de 30, 20, 15 e 10 dias e obtiveram significativo potencial para produção de biogás de 2,47 m³; 1,90 m³; 1,29 m³; 1,11 m³, por m³ biodigestor, respectivamente, ao THR.

Considerando esta possibilidade de potencial de produção de CH₄, essa pesquisa foi desenvolvida com o objetivo de identificar a melhor época de retirada do dejetos líquido da coturnicultura (DLC) proveniente da produção de ovos de codornas, com o intuito de aumentar a produção de biogás, utilizando biodigestores em sistema

de batelada e, posteriormente, identificar o potencial de geração de energia elétrica com o uso do biogás produzido.

2. OBJETIVOS

2.1. Geral

Investigar o potencial da produção de biogás e geração de energia elétrica, do dejetos líquido da coturnicultura com sistema de tratamento por lâmina d'água em biodigestores anaeróbicos de batelada.

2.2. Específicos

Analisar as características físicas e químicas do substrato e inóculo para melhor compreensão do processo de digestão anaeróbia e da geração de biogás e CH₄.

Realizar análise experimental com diferentes tempos de deposição dos dejetos e retenção hídrica nos biodigestores anaeróbicos, a fim de avaliar o efeito na produção de biogás e CH₄.

Verificar o potencial para a geração de energia com o uso do biogás gerado na coturnicultura com sistema de tratamento por lâmina d'água.

3. BIODIGESTÃO DO DEJETO DA COTURNICULTURA COM SISTEMA DE TRATAMENTO POR LÂMINA D'ÁGUA E POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS¹

BIODIGESTION OF COTURNICULTURE WASTE WITH A WATER DEPTH TREATMENT SYSTEM AND BIOGAS PRODUCTION POTENTIAL

Resumo

A coturnicultura é uma atividade que demanda baixo investimento e rápido retorno, por apresentar uma alta produção de ovos, sendo estes os principais produtos em escala industrial, já que a carne ainda é considerada exótica pelos consumidores. Com o crescimento significativo da produção industrial de ovos de codornas, surgem também os desafios da gestão dos resíduos gerados, que devem ser tratados ou destinados de forma sustentável. A utilização dos dejetos para a geração de energia por biodigestão anaeróbica pode significar uma tecnologia viável e promissora para obtenção de biogás originado dos sistemas de produções de animais confinados que demandam um elevado consumo de eletricidade. Essa tecnologia pode representar um incremento de renda ao coturnicultor, não apenas pela transformação de biogás na geração de energia elétrica, mas também como solução de tratamento dos resíduos gerados pelas aves. Neste sentido, o presente estudo teve como objetivo investigar a utilização do dejetos líquido da coturnicultura (DLC) com sistema de tratamento de lâmina d'água e seu potencial de produção de biogás em biorreatores anaeróbicos de batelada. O método aplicado foi o ensaio do BMP, através de biorreatores em bancada de volume de 250 mL, e em condições mesófilas ($37 \pm 2^\circ\text{C}$). Utilizou-se como inóculo o dejetos do tanque da esterqueira da granja de produção de ovos de codornas. Os substratos utilizados para compor os tratamentos foram dejetos acumulados no tanque do sistema de tratamento por lâmina d'água, com 15, 30 e 45 dias de deposição. A pesquisa visou analisar a melhor monodigestão (inóculo + substrato) para um possível aumento da produção de biogás e CH_4 . O tempo de retenção hídrica (TRH) nos biorreatores foi de 45 dias. No período foram avaliadas a produção através das leituras dos manômetros e a qualidade do biogás por cromatografia gasosa. Após estudos realizados, foi constatado que a melhor monodigestão utilizada foi inóculo + substrato de 30 dias de deposição, com tempo de retenção hídrica de 45 dias, o qual apresentou maior produção de biogás ($0,00078476 \text{ Nm}^3$) e CH_4 ($0,000575 \text{ Nm}^3$) acumulados durante o tempo de retenção, bem como o maior potencial de biogás ($0,112 \text{ Nm}^3/\text{kgST}$) e CH_4 ($0,082 \text{ Nm}^3/\text{kgST}$). Conforme observado nas análises cromatográficas, o inóculo com THR de 45 dias obteve o maior percentual de CH_4 no biogás que foi de 36,5%. Já o menor percentual de CH_4 observado nos tratamentos de

1 Proposta de submissão de artigo para Brazilian Journal of Environmental Science : https://www.rbciamb.com.br/index.php/publicacoes_RCBCIAMB

monodigestão (inóculo + substrato) foi de 56,61% no T4 com TRH de 45 dias, valores que indicam o potencial de viabilidade da biodigestão anaeróbica com substrato adicionado com inóculo.

Palavras-chave: *Coturnix Coturnix japônica*, produção de biogás, inóculo, digestão anaeróbica, BMP.

ABSTRACT

Coturniculture is an activity that demands low investment and quick return, as it presents a high production of eggs, which are the main products on an industrial scale, since meat is still considered exotic by consumers. With the significant growth of industrial production of quail eggs, the challenges of managing the generated waste also arise, which must be treated or disposed of in a sustainable way. The use of waste for the generation of energy by anaerobic biodigestion can mean a viable and promising technology to obtain biogas originated from confined animal production systems that demand a high consumption of electricity. This technology can represent an increase in income for the coturniculturist, not only through the transformation of biogas in the generation of electric energy, but also as a solution for the treatment of waste generated by birds. In this sense, the present study aimed to investigate the use of coturniculture liquid manure (DLC) with a water depth treatment system and its potential for biogas production in anaerobic batch bioreactors. The method applied was the BMP test, through benchtop bioreactors with a volume of 250 mL, and in mesophilic conditions ($37\pm 2^{\circ}\text{C}$). The manure from the manure tank of the quail egg production farm was used as inoculum. The substrates used to compose the treatments were manure accumulated in the tank of the water depth treatment system, with 15, 30 and 45 days of deposition. The research aimed to analyze the best monodigestion (inoculum + substrate) for a possible increase in biogas and methane production. The water retention time (HRT) in the bioreactors was 45 days. In the period were evaluated the production through the readings of the manometers and the quality of the biogas by gas chromatography. After studies carried out, it was found that the best monodigestion used was inoculum + substrate of 30 days of deposition, with water retention time of 45 days, which showed the highest production of biogas (0.00078476 Nm^3) and methane (0.000575 Nm^3) accumulated during the retention time, as well as the highest potential of biogas ($0.112 \text{ Nm}^3/\text{kgST}$) and methane ($0.082 \text{ Nm}^3/\text{kgST}$). As observed in the chromatographic analyses, the inoculum with 45-day THR obtained the highest percentage of CH_4 in the biogas was 36.5%. The lowest percentage of CH_4 observed in the monodigestion treatments (inoculum + substrate) was 56.61% in T4 with 45-day TRH values that indicate the potential viability of anaerobic biodigestion with substrate added with inoculum.

Key words: *Coturnix Coturnix japonica*, biogas production, inoculum, anaerobic digestion, BMP.

3.1. Introdução

Na coturnicultura, alguns fatores têm favorecido o crescimento de criação de codornas no Brasil, como: o rápido crescimento, precocidade na produção e maturidade sexual (35 a 42 dias), alta produtividade (média de 300 ovos/ano), pequeno espaço para grandes populações, grande longevidade em alta produção (14 a 18 meses), baixo investimento e, conseqüentemente, rápido retorno financeiro (PASTORE *et al.*, 2012).

No Brasil, em 2020, o efetivo de codornas foi de 16,7 milhões, sendo o estado com maior rebanho o Espírito Santo, seguido, respectivamente, dos estados de São Paulo, Minas Gerais, Santa Catarina e Ceará (IBGE, 2020). Com a expansão da coturnicultura de postura na última década, houve o conseqüente aumento do descarte dos dejetos das codornas, surgindo assim o desafio do tratamento dos dejetos.

A intensiva produção avícola gera como conseqüências os resíduos decorrentes das atividades, os quais devem ser tratados de forma a minimizar os impactos ambientais negativos (DE BONA *et al.*, 2017). À medida que os impactos negativos ao meio ambiente crescem drasticamente, há necessidade de adotar medidas de mitigação e novas tecnologias que visem modificar rejeitos em compostos para serem absorvidos pela biosfera, ou seja, ir além da sustentabilidade.

Os resíduos dessa atividade tem alto potencial energético e econômico para serem utilizados como fonte de biomassa na digestão anaeróbica para geração de biogás, além de mitigar os impactos negativos e aumentar o lucro financeiro (MARCHIORO *et al.*, 2018). A utilização da biodigestão anaeróbica para o tratamento dos dejetos de animais tem sido uma tecnologia viável e promissora para obtenção de biogás originada dos sistemas de produções de animais confinados. Neste sentido, Pinheiro *et al.* (2022) ressalta que o tratamento dos dejetos das aves de postura de forma racional, ambiental e econômica, com a finalidade de alcançar o potencial

energético e redução do impacto ambiental, pode ser alcançado através da digestão anaeróbica. A digestão anaeróbica é um processo biológico que acontece em diversas etapas da degradação da matéria orgânica, com a finalidade de produzir biogás e digestato em ambientes sem a presença de oxigênio. Habitualmente, o processo acontece em quatro etapas: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese (CAPSON-TOJO *et al.*, 2016).

Pattanaik *et al.* (2019) enfatizam que os biocombustíveis são combustíveis derivados de organismos vivos, como plantas e microorganismos. Os biocombustíveis produzidos a partir de recursos naturais ajudam a reduzir os gases de efeito estufa e, assim, colaboram para manter um bom equilíbrio de carbono na atmosfera. O biogás é um exemplo destes biocombustíveis e sua vantagem em relação ao gás natural é por ser gerado através de fontes naturais e ainda por ajudar a reduzir a emissão dos gases de efeito estufa (PATTANAİK *et al.*, 2019).

Numa visão holística do processo de digestão anaeróbica, quando levada em consideração uma tecnologia de produção de energia e também de geração de biofertilizante de liberação rápida, o processo de digestão anaeróbica agrícola provavelmente será a técnica dominante no tratamento de resíduos (JURGUTIS *et al.*, 2020). Além de ajudar a contribuir para a geração de energia limpa e reduzir a dependência de energia derivada de combustíveis fósseis. Oliver (2008) sobrelevam que, na utilização dos biofertilizantes, obtém-se algumas vantagens como: deixar os nutrientes mais acessíveis às plantas, melhorar a estrutura do solo, facilitar o seu manuseio e oportunizar as raízes das plantas a penetrarem camadas mais profundas, tornando-as mais tolerantes em períodos de secas. Portanto, a biodigestão anaeróbica pode configurar como uma alternativa para o aproveitamento dos dejetos da coturnicultura, tendo como resultado potencial a produção de energia, saneamento ambiental da propriedade rural e produção de biofertilizantes através das implantações de biodigestores, resultados que representam vantagens econômicas, sociais e ambientais.

Para a utilização da biodigestão anaeróbica para produção de energia se faz necessário conhecer o potencial de produção de biogás dos substratos. E esse potencial pode ser conhecido através do ensaio BMP (*Biochemical methane potential*), o qual representa a produção de CH₄ total da digestão anaeróbia e demonstra também a degradação biológica de substratos orgânicos (RODRIGUES *et al.*, 2019; SILVA; MORAIS JR.; ROCHA, 2016). Além de conhecer o potencial de biodegradabilidade de um substrato, o ensaio deixa estimar a possibilidade de inibição da digestão anaeróbia para diferentes condições, aprimora relações inóculo e substratos e ainda confere o tempo de retenção necessário para se completar a digestão anaeróbia de um substrato complexo (ANGELIDAKI *et al.*, 2009; BLASIUS, 2019).

De acordo com Esposito *et al.* (2012), os principais parâmetros que afetam os resultados dos experimentos em protocolos para testes do BMP (*Biochemical methane potential*) são temperatura e pH, características físicas e químicas dos substratos, intensidade de agitação e razão inóculo/substrato (I/S). Já Xavier e Lucas Júnior (2010) evidenciam que a inserção de inóculo no processo de digestão anaeróbia representa o fornecimento de uma população adicional de microorganismos adaptados ao novo substrato. Steil (2001) ressalta que esses substratos (resíduos de aves de postura) quando submetido à digestão anaeróbica, devem ser tomados alguns cuidados com a partida de produção de biogás ou o processo poderá ser comprometido, pois a população anaeróbica nesse resíduo é menor quando comparado com resíduos de ruminantes.

Ainda segundo Angelidaki *et al.* (2009), o biogás/ CH₄ produzido através da biodigestão anaeróbica do substrato pode ser quantificado por meio de diferentes técnicas, tais como: métodos volumétricos (tipicamente deslocamento de água ácida), manométrico (determinação da variação de pressão por transdutores), métodos de cromatografia gasosa com detectores de ionização por chama (FID) ou condutividade térmica (TCD).

Na literatura, observa-se que vários autores informam que o método BMP ainda não foi internacionalmente normatizado e que o ensaio é um método analítico de referência a respeito das transformações de matérias orgânicas em CH₄.

Esse estudo tem sido realizado com o objetivo de aumentar a produção de biogás, através da adição de inóculo, sendo este inóculo o dejetos do tanque da esterqueira da granja de produção de ovos de codornas. Os substratos utilizados foram dejetos acumulados no tanque do sistema de tratamento por lâmina d'água, com 15, 30 e 45 dias de deposição, no qual se buscou nesses substratos um possível aumento na produção de biogás e CH₄. Diante deste contexto, o presente trabalho teve como objetivo investigar a utilização do dejetos líquido da coturnicultura, e identificar o substrato e o tempo de retenção de maior potencial de produção de biogás e CH₄ em biorreatores anaeróbios de batelada na coturnicultura com sistema de tratamento por lâmina d'água.

3.2. Materiais e Métodos

A metodologia da pesquisa foi baseada na realização do Ensaio BMP (*Biochemical methane potential*) e na construção e monitoramento dos biorreatores de bancada com volume de 250mL em condições mesófilas. Para tanto, foram testados o inóculo e as diferentes amostras com 15, 30 e 45 dias de deposição.

As amostras do dejetos líquido da coturnicultura (DLC) foram coletadas em granja de produção de codornas equipada com sistema de tratamento de dejetos por lâmina d'água, com plantel de 32 mil aves de postura criadas em gaiolas suspensas. A granja está localizada no município de Massaranduba/SC, na Latitude -26° 34' 30"S e Longitude: -48° 55' 04"W. Detalhes do sistema de produção são apresentados na Figura 1

Figura 1- Plantel das codornas em criação intensiva em gaiolas para a produção de ovos com sistema de tratamento de dejetos por lâmina d'água.

Figure 1 - Plant of quails in intensive rearing in cages for the production of eggs with a water depth treatment system



Fonte: Os Autores (2022)

As amostras foram coletadas a cada 15 dias durante um ciclo de 45 dias de deposição no tanque com lâmina d'água, totalizando três amostras no total, sendo a primeira no 15º dia, a segunda no 30º dia e a última no 45º dia. O inóculo selecionado para ser digerido com as amostras no ensaio foi o dejetos do tanque da esterqueira da granja de produção de ovos de codornas.

Foi oportunizado o inóculo por sua disponibilidade na granja e também por existir uma população adicional de microorganismos já adaptados ao substrato, conforme indicado nas literaturas. As amostras foram armazenadas em um recipiente de polietileno com capacidade de 5 litros, sendo conservado em temperatura de 4°C.

Os métodos analíticos de caracterização do inóculo e amostras foram realizados em laboratórios, conforme a Tabela 1, que sumariza todos os parâmetros e os respectivos métodos que foram utilizados na caracterização físico-química das amostras do DLC.

Tabela 1-Parâmetros e os respectivos métodos que foram analisados nas amostras DLC frescos.

Table 1-Parameters and the respective methods that were analyzed in the fresh DLC

Parâmetro	Unidade	Referência/ Método
Alcalinidade total	mg/l	SMEWW-2320 b
ph		SMEWW – 4500 - H+B
Carbono orgânico total	mg/l	PO 110
DBO	mg/l	SMEWW – 5210 D
DQO	mg/l	SMEWW – 5220 D
Nitrogênio total	mg/L e %	SMEWW – 4500 – N C / Titulometria = MAPA
Sólidos totais	mg/l	SMEWW – 2540 B e 2540 E
Sólidos voláteis	mg/l	SMEWW – 2540 B e 2540 E
Fósforo total	%	Gravimetria = MAPA
Potássio	%	Espectrometria de emissão Atômica = MAPA
Cálcio	%	Espectrometria de Absorção Atômica = MAPA
Magnésio	%	Espectrometria de emissão Atômica = MAPA
Enxofre	ppm	Gravimetria = MAPA
Boro	%	Espectrometria
Cobre	ppm	Espectrometria de emissão Atômica = MAPA
Manganês	ppm	Espectrometria de emissão Atômica = MAPA
Ferro	ppm	Espectrometria de emissão Atômica = MAPA
Zinco	ppm	Espectrometria de emissão Atômica = MAPA
Alumínio	ppm	Espectrometria de emissão Atômica = MAPA
Sódio	%	Espectrometria de emissão Atômica = MAPA
Cinzas	%	Calculo
Matéria orgânica	%	Gravimetria = MAPA
Umidade (65°C)	%	Perca por Secagem = Mapa
Densidade	g/cm ³	Picnômetro

Fonte: IBRA - Instituto Brasileiro de Análises e LABB - Análises Ambientais

Entre setembro e dezembro de 2021, foram realizados ensaios de *Biochemical methane potential* para a avaliação da biodegradação e geração de biogás e CH₄. O experimento foi instalado em biorreatores de bancada nas dependências do Laboratório de Química do Instituto Federal Catarinense, Campus de Blumenau (Figura 2). Os preenchimentos dos reatores foram realizados durante um ciclo de 45 dias de deposição do DLC. O experimento foi estabelecido por quatro tratamentos, em

triplicata, resultando em 16 reatores como unidades experimentais, em um delineamento inteiramente casualizado (DIC).

Figura 2-Biorreatores de bancada instalados nas dependências do Laboratório de Química do Instituto Federal Catarinense, Campus de Blumenau.

Figure 2-Bioreactorsbenches installed on the premises of the Chemical Laboratory of the Instituto FederalSanta Catarina, Blumenau Campus



Fonte: Os Autores (2022)

Foram confeccionados 16 biorreatores para analisar a geração e produção de biogás, que consistiram em frascos de borossilicato com capacidade volumétrica de 250 mL, com tampa plástica de alta resistência, com sistema de tamponamento reforçado para garantir estanqueidade. Aos biorreatores foram acopladas válvulas de alívio e manômetro de 1kgf/cm^2 com escala de $0,1\text{kgf/cm}^2$. Foi realizada a calibração dos manômetros em laboratório certificado (Anexo 1).

Para o estudo da monodigestão do DLC, o método adotado para analisar a geração e produção de biogás e CH_4 foi baseado na metodologia descrita por Hansen *et al.* (2004) e adaptada por Firmo (2013). Após a montagem dos biorreatores com os manômetros calibrados, iniciou-se as etapas do ensaio BMP, sendo eles:

O teste de estanqueidade foi realizado através do aumento da pressão interna do biorreator e posterior submersão em água com monitoramento pelo manômetro aferido já acoplado.

O preenchimento dos reatores, com as proporções de inóculo e substratos que o estudo objetivou analisar a geração de biogás e CH_4 , foi com um percentual de 16,6% de inóculo, para três tratamentos (T2, T3 e T4). Já o tratamento (T1) foi preenchido com as mesmas proporções de inóculo e com material inerte no lugar do substrato. Verificou-se também que a literatura não parece concordar com uma proporção ótima. No entanto, na relação substrato/inóculo (S/I) foi adotada a relação (5:1,v:v), que objetiva analisar a influência do inóculo no processo.

Para a composição experimental, utilizou-se amostras de DLC de três concentrações de deposição, 15, 30 e 45 dias com a adição de inóculo, configurando-se quatro tratamentos em triplicata. Foram analisados os dados de geração e produção de biogás e CH_4 após 15, 30 e 45 dias, com a leitura da pressão e análise cromatográfica do gás de alívio. Ressalta-se que análise cromatográfica era realizada no mesmo dia da coleta do biogás, a fim de minimizar o risco de contaminação da amostra.

Tabela 2-Apresenta os volumes definidos no experimento de inóculo e substrato

Table 2-Shows the volumes defined in the inoculum and substrate experiment

Configurações (substrato+lodo)	Substrato (mL)	Inóculo (mL)	Headspace (mL)
T1	0	30	70
T2	150	30	70
T3	150	30	70
T4	150	30	70

Legenda: T1= dejetos do tanque da esterqueira da granja; T2 = dejetos líquidos da coturnicultura com deposição de 15 dias + inóculo; T3= dejetos líquidos da coturnicultura com deposição de 30 dias + inóculo; T4 = dejetos líquidos da coturnicultura com deposição de 45 dias + inóculo.

O volume total do reator é de 250 mL, e o volume preenchido é de 180 mL. A diferença corresponde ao volume de expansão gasosa (Headspace) de 70mL, que é utilizado nos cálculos de volume de gás produzido.

Após o preenchimento com os volumes pré-definidos com substratos e inóculos, realizou a pesagem inicial, medição do potencial Hidrogênio (pH), através do pHmetro de bancada pHS-3E e condutividade elétrica com medidor de condutividade de bancada mCA-150.1. Nesse experimento, não houve pré-tratamento ou ajuste de pH e alcalinidade, pois a proposta era verificar o comportamento do processo sem nenhuma interferência química.

A metodologia utilizada sugere realizar a circulação de nitrogênio nos reatores para retirar o oxigênio do interior e garantir a condição anaeróbica. Porém, optou-se em não realizar este procedimento devido à pequena quantidade de oxigênio presente no headspace, que seria consumida rapidamente pelos organismos ali presentes nas amostras.

Uma vez prontos os biorreatores, com inóculo e substrato, com as válvulas fechadas e o sistema todo vedado, foram identificados e cobertos com papel alumínio para evitar a proliferação de algas estimuladas pela incidência de luz. Em seguida, os biorreatores foram incubados na estufa bacteriológica SL-101, a temperatura de 37°C \pm 2°C durante todo o experimento, sendo uma ótima temperatura na faixa mesofílica, segundo as literaturas.

Figura 3-Reatores identificados e incubados na estufa com temperatura mesofílica durante os 45 dias de retenção.

Figure 3-Reactors identified and incubated in the oven at mesophilic temperature during the 45 days of retention.



Fonte: Os Autores (2022)

Quando o manômetro acoplado ao biorreator registrava uma pressão maior que $0,5 \text{ kgf/cm}^2$, realizava-se o registro da leitura do manômetro e se executava o alívio através da válvula (FIRMO, 2013), e caso não se atingisse a pressão $0,5 \text{ kgf/cm}^2$, o alívio aconteceria somente nos dias da análise gasosa, ou seja, a cada 15 dias.

O monitoramento das leituras da pressão interna dos biorreatores ocorreram por 90 dias ininterruptos e foram anotados em uma tabela para realizar o cálculo do volume de biogás gerado em cada reator em condições normais de temperatura e pressão (Nml). O monitoramento da composição do biogás, ou seja, o percentual em volume de CH_4 e dióxido de carbono, ocorreu a cada 15 dias durante todo o experimento.

As análises gasosas foram realizadas de todos os tratamentos e replicatas, durante os 45 dias de incubação, tempo este estabelecido devido à necessidade da retirada do DLC da granja, pois há um aumento da geração de amônia dentro de granja. As concentrações de CH_4 no biogás foram realizadas através de análise cromatográfica no Laboratório de Cromatografia - LCR do Campus II da Fundação

Universidade Regional de Blumenau - FURB. A coleta do biogás dos biorreatores foi realizada com seringas de três vias de 10 mL. O procedimento adotado para coletar o biogás a ser analisado foi a rinsagem da seringa pelo menos duas vezes, para minimizar o risco de contaminação com o ar ambiente/atmosférico na amostra a ser analisada, ou seja, repetir por duas vezes o procedimento de retirar todo o biogás do sistema de coleta.

Após coletadas as amostras do biogás dos reatores, foram identificadas as seringas com o tipo de tratamento, para enviar ao LCR e realizar as análises quantitativas volumétricas do biogás através do método de cromatografia gasosa. Utilizou-se o cromatógrafo a gás da marca Shimadzu (modelo GC-17A) com metanador Shimadzu, modelo MTN-1 (375 °C) empregando a coluna 60/80 Carboxen 1000 (5m x 2mm em tubo de aço inoxidável) com detectores de ionização por chama (FID) e de condutividade térmica (TCD). A temperatura do injetor foi de 220°C com injeção splitless com seringa tipo gastight. As temperaturas do metanador, TCD e FDI foram de 375, 200 e 250°C, respectivamente. O gás de arraste empregado foi o argônio e a corrente foi de 40mA. A temperatura inicial do forno era de 40°C, durante 6 min, elevação da temperatura para 220 °C com taxa de 20°C min⁻¹, permanecendo nesta temperatura por 20 minutos. Antes da injeção da amostra no equipamento de cromatografia gasosa, foi necessário realizar uma curva analítica dos componentes CO₂ e CH₄, com um R² superior a 0,99, para fazer a determinação da composição do biogás. Na curva analítica foram utilizados os padrões de gases adquiridos junto a empresa white Martins em um cilindro que continha uma mistura dos gases: 10% metano, 10% etano, 10% eteno, 10% propano, 10% propeno, 10% butano, 10% buteno, 15% dióxido de carbono e 15% nitrogênio.

Figura 4-Seringa para coleta do gás e equipamento de cromatográfica
Figure 4 -Syringe for gas collection and chromatography equipment



Fonte: Os Autores (2022)

Os experimentos foram finalizados quando chegava no 45º dia de incubação dos tratamentos. Então foi realizada a última coleta do biogás e feita a cromatografia gasosa, em seguida, feito o alívio total do biogás existente e, posteriormente, os biorreatores foram pesados e medidos o pH e a condutividade final do digestado.

Para os cálculos da geração de biogás através do ensaio do BMP, foram necessários dados de pressão atmosférica do local do experimento, obtidos no site Weather Underground (www.wunderground.com). As temperaturas e pressão atmosféricas, bem como as leituras das pressões e temperaturas diárias de cada frasco permitiram o registro do volume de biogás produzidos nos frascos do ensaio do potencial bioquímico de metano, calculado conforme a equação 3.1 à equação 3.3 (HARRIES; CROSS; SMITH, 2001):

Equação 3.1 Volume de Biogás gerado entre T e T+1

$$\text{Gerado entre T + (T+1)} = \left[\frac{PF(\text{mbar}) \times VUF(\text{L}) \times 22,41}{83,14 \times TF(\text{k})} \right] 1000$$

Onde:

T: Tempo (dias)

PF (mbar): Pressão do frasco em milibar

VUF (L): Volume Útil do Frasco em litros

TF (K): Temperatura do Frasco em Kelvin

Equação 3.2 Volume de Biogás Acumulado (mL)

$$\text{Volume Acumulado (mL)} = [\text{Gerado entre Te (T+1)}] + \text{VGA (mL)}$$

Onde:

T: Tempo (Dias)

VGA(mL): Volume de biogás acumulado do dia anterior em mililitros

Equação 3.3 Volume de Biogás Acumulado CNTP (NmL)

$$\text{Vol. Biogás Acumulado} = [\text{Vol. Acumulado (mL)}] \times \left[\frac{273}{TF(\text{K})} \right] \times \left[\frac{Patm(\text{mbar}) - 42}{760} \right]$$

Onde:

TF(K): Temperatura do frasco em Kelvin

Patm (mbar): Pressão Atmosférica em milibar

Assim, através destas fórmulas, o volume de biogás acumulado (mL) foi calculado e corrigido para as Condições Normais de Temperatura e Pressão – CNTP, sendo então obtido o volume de biogás em NmL.

3.3. Resultados e Discussão

Os resultados obtidos no estudo de biodigestão anaeróbia, utilizando como substrato o dejetos líquido da coturnicultura (DLC) com sistema de tratamento lâmina d'água são apresentados e discutidos a seguir.

3.3.1. Caracterização dos Substratos Utilizados nos Ensaio BMPs

Na Tabela 3 estão apresentados os resultados das análises de caracterização físico-química do inóculo e das amostras.

Tabela 3-Resultados das análises físico-química das amostras e inóculo enviados aos laboratórios

Table 3-Results of the physical-chemical analyzes of the samples and inoculum sent to the laboratories

Parâmetro	Inóculo	DLC deposição de 15 dias	DLC deposição de 30 dias	DLC deposição de 45 dias
Alcalinidade total	22.180,55 mg/L			22.180,55 mg/L
pH	7,7	7,7	7,9	7,7
Carbono orgânico total	9.980,00 mg/L			9.980,00 mg/L
DBO	25.789,32 mg/L			25.789,32 mg/L
DQO	62.800,0 mg/L			62.800,0 mg/L
Nitrogênio total	3.615,74 mg/L N 0,6 %	0,57 %	0,64 %	3.615,74 mg/L N 0,6 %

Sólidos totais	38.920,0 mg/L			38.920,0 mg/L
Sólidos totais voláteis	24.952,0 mg/L			24.952,0 mg/L
Fósforo total	0,16 %	0,96 %	0,48 %	0,16 %
Potássio	0,41 %	0,18 %	0,2 %	0,41 %
Cálcio	0,03 %	0,15 %	0,39 %	0,03 %
Magnésio	0,01 %	0,04 %	0,06 %	0,01 %
Enxofre	0 ppm	0 ppm	0 ppm	0 ppm
Boro	0	0,01 %	0,01 %	0
Cobre	5,71 ppm	0 ppm	0 ppm	5,71 ppm
Manganês	0 ppm	0 ppm	16,42 ppm	0 ppm
Ferro	0 ppm	0 ppm	0,01 ppm	0 ppm
Zinco	35,68 ppm	6,62 ppm	13,26 ppm	35,68 ppm
Alumínio	0 ppm	97,76 ppm	0 ppm	0 ppm
Sódio	0,02 %	0,02 %	0,02 %	0,02 %
Cinzas	28,57 %	66,67 %	20 %	28,57 %
Matéria orgânica	71,43 %	33,33 %	80 %	71,43 %
Umidade (65°C)	96,59 %	98,53 %	95,61 %	96,59 %
Densidade	1,02 g/cm ³	1,01 g/cm ³	1,02 g/cm ³	1,02 g/cm ³

Fonte: IBRA - Instituto Brasileiro de Análises e LABB - Análises Ambientais

As caracterizações do inóculo e das amostras foram realizadas somente no início dos experimentos.

A relação Carbono e Nitrogênio (C:N) presente no dejetos líquido de codorna (DLC) foi de 2,8:1, próxima dos valores indicados por Alves (2018), que encontrou nas análises em pesquisa de resíduos, os valores de 5,8:1 em esterco de codorna.

Conforme relato na literatura, os dejetos de aves apresentam-se com uma relação C/N baixa, o que indica que o nitrogênio não será limitante, mas também alerta que, caso a razão apresente-se entre 10 e 15, sugere a presença de nitrogênio

em quantidades maiores que as necessárias, o que pode ocasionar um aumento na produção de amônia. E a amônia, por sua vez, incorpora-se ao meio líquido provocando efeitos tóxicos ao processo.

Os sólidos totais (ST) apresentaram teores médios de 39.000 mg/L e voláteis (SV) de 25.000 mg/L tanto para os inóculos quanto para as amostras avaliadas, o que pode justificar a boa produção de biogás. Segundo Zhang et al. (2007), a biodegradabilidade do resíduo e a produção de biogás está relacionada com o teor de sólidos totais e voláteis presente na amostra.

O potencial Hidrogeniônico (pH) é um parâmetro de grande importância para a produção de biogás e CH₄, pois os microorganismos responsáveis pela digestão anaeróbia possuem faixas ótimas de crescimento e de atividade metabólica, específicas para cada grupo. Assim, foram medidos o pH inicial e final do experimento BMP. Na tabela 4 estão expressas as médias dos valores iniciais e finais de pH e condutividade elétrica para cada condição experimental.

Tabela 4-Médias dos valores iniciais e finais de pH e condutividade elétrica.
Table 4-Averages of initial and final pH and electrical conductivity values

Configurações	pH inicial	pH final	Condutividade INICIAL (µs/cm)	Condutividade FINAL (µs/cm)
Inóculo (dejeito do tanque da esterqueira da granja)	7,4	8,17	26,45	30,65
Inóculo +15 dias deposição	7,17	7,85	18,87	23,23
Inóculo +30 dias deposição	7,75	7,95	25,93	30,51
Inóculo +45 dias deposição	7,57	8,15	27,05	34,2

Fonte: Os Autores (2022)

Os valores de pH observados foram estáveis no início e no fim dos experimentos. Os valores médios dos ensaios encontram-se na faixa de 7,17 a 8,17, valores estes que se encontram próximos à faixa ideal para o desenvolvimento microbiano, compreendido entre 6,0 e 8,0. Segundo Quadros *et al.* (2010) e Sánchez-

Hernández *et al.* (2013), pH de 7,0 pode ser considerado o ideal. Estes aspectos reforçam a capacidade do biodigestor desenvolver um efeito tampão (KUNZ, 2011), de tal forma que, sob estas condições, os biodigestores são capazes de se manter tratando o dejetos líquido da coturnicultura (DLC).

O aumento da condutividade significa que a matéria orgânica foi degradada de forma anaeróbica pelos microorganismos, liberando íons para o meio e assim aumentando a condutividade do meio reacional (ROCHA, 2009). A condutividade elétrica possui correlação com a quantidade de íons dissolvidos durante a fase líquida. O aumento da condutividade elétrica seria explicado pela digestão de uma matéria mais complexa em uma mais simples (SILVA *et al.*, 2012).

A produção de biogás com elevado percentual de CH_4 , depende de inúmeros fatores, como a presença de substâncias inibidoras do processo de digestão anaeróbica, pode-se destacar a amônia, sulfetos, compostos orgânicos, metais pesados (cromo, cobalto, zinco, cádmio, níquel) e íons metálicos (sódio, potássio, magnésio, cálcio, alumínio) (Chen *et al.*, 2008).

Nas análises realizadas podemos observar que os íons metálicos subiram conforme o tempo de deposição, mas foram reduzidos após 30 dias de deposição, com exceção do potássio que acumulou.

Appels *et al.* (2008), apresenta algumas faixas de concentração de substâncias estimuladoras do processo anaeróbico, como de potássio de 200 a 400 mg/l, cálcio de 100 a 200 mg/l e magnésio de 75 a 150 mg/l, acima desses valores começa uma inibição moderada.

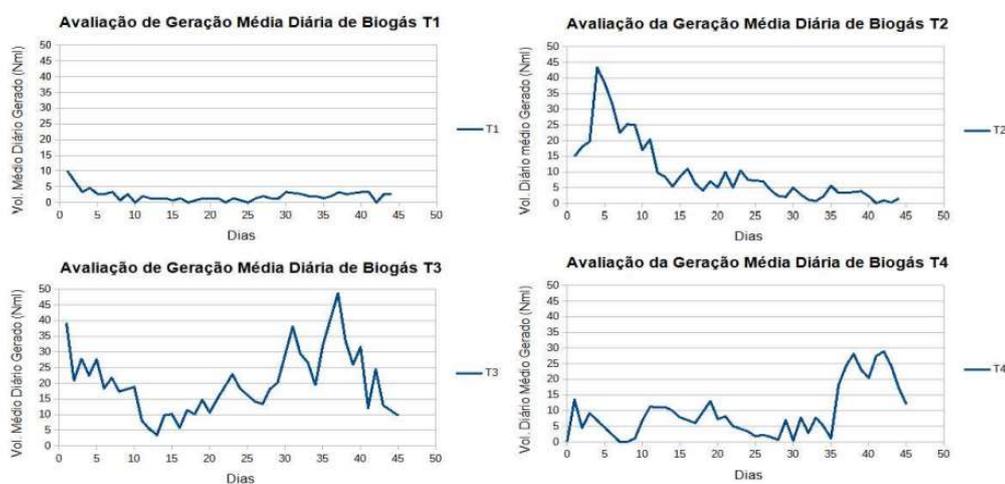
De acordo com Cabirol *et al.* (2003), o mecanismo de inibição do alumínio é associado à competição com o ferro e magnésio ou pela sua adesão à parede celular, o que afeta o crescimento microbiano. Porém o alumínio foi identificado somente na amostra de 15 dias de deposição, esta presença de alumínio deve-se ao fato da utilização das águas residuárias na lâmina d'água. Após a coleta da amostra de 30 dias de deposição não foi mais identificado o alumínio, assim não afetando mas crescimento microbiano.

3.3.2. Avaliação de Produção Média Diária de Biogás

Apresenta-se na Figura 5 a produção diária do biogás obtida por dejetos de origem da coturnicultura nos 45 dias do processo. Nos primeiros dias do processo, os biorreatores, com os tratamentos 2 e 3, apresentaram produção superior ao tratamento 4 e 1. O Tratamento 1 teve produção inicial de 10 NmL de biogás diário, e sendo este o maior pico de produção durante todo o processo. O Tratamento 2 teve produção inicial de 15 NmL de biogás diário, alcançando seu pico de produção de 43 NmL no quarto dia do processo. O Tratamento 3 teve produção inicial de 39 NmL de biogás diário e alcançou seu pico de produção de 48 NmL no trigésimo sétimo dia. Já o Tratamento 4 teve produção inicial de 13 NmL de biogás diário, com seu pico de produção alcançado em 28 NmL no trigésimo oitavo dia.

Figura 5- Média diária da produção de biogás para os biorreatores com dejetos líquidos da coturnicultura (DLC) a quatro condições: inoculo (T1), Inóculo + 15 dias deposição (T2), Inóculo + 30 dias deposição (T3) e Inóculo +40 dias deposição (T4).

Figure 5-Daily average of biogas production for bioreactors with quail farming liquid manure (DLC) at four conditions: inoculum (T1), Inoculum + 15 days deposition (T2), Inoculum + 30 days deposition (T3) and Inoculum +40 deposition days (T4)



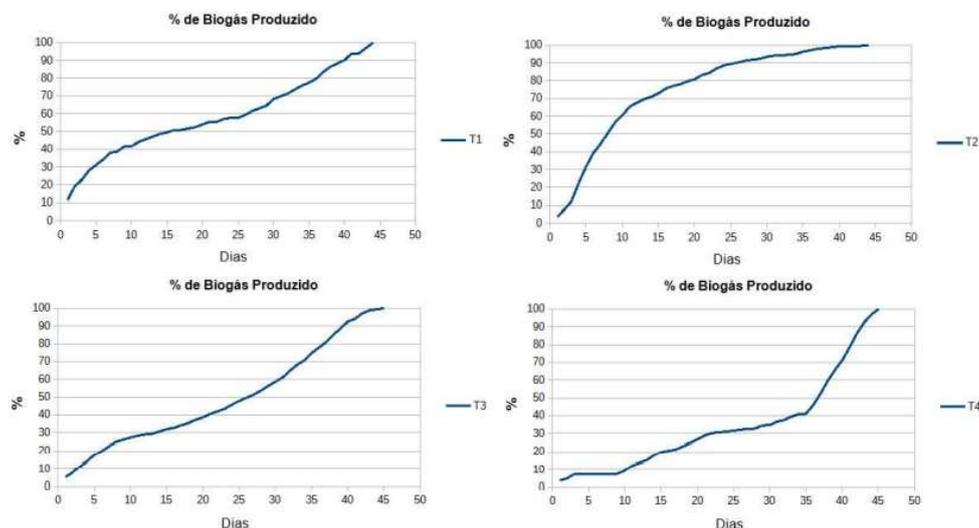
Fonte: Os Autores (2022)

3.3.3. Porcentagem Acumulada de Biogás Produzido

São apresentados os dados referentes à porcentagem acumulada de biogás produzido, para cada tratamento utilizado, na Figura 6. O efeito da utilização de inóculo no processo de biodigestão anaeróbia do dejetos líquido da coturnicultura (DLC) com deposição de 15 dias (T2), como pode ser observado na Figura 6, é acentuado. Atingiu-se 73% da produção de biogás aos 15 dias de TRH no biorreator, enquanto para os outros tratamentos T1, T3, isto ocorreu somente aos 33 dias e T4 somente no dia 41.

Figura 6-Porcentagem acumulada de biogás produzido por cada tratamento na linha do tempo.

Figure 6-Cumulative percentage of biogas produced by each treatment in the timeline.



Fonte: Os Autores (2022)

A antecipação do pico de produção de biogás torna-se mais evidente quando se observa que o tratamento 2, o T1 e T3 permaneceram com uma produção média

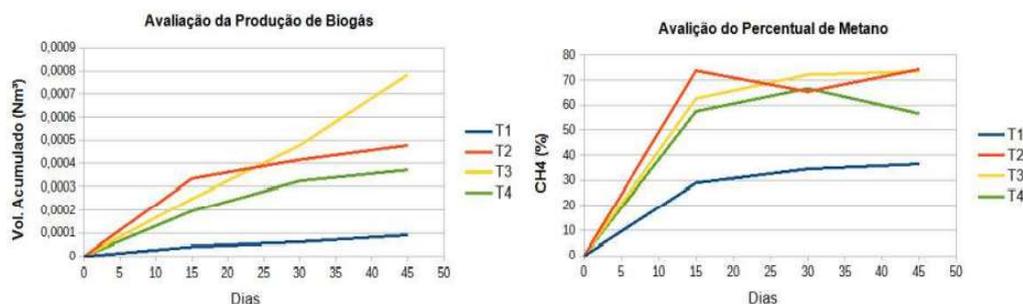
constante, já o T4 teve um pico de produção atrasado e permaneceu com grande produção até os 45 dias TRH.

3.3.4. Avaliação da Produção de Biogás e Metano

Pode-se observar na Figura 7 a produção acumulada Nm^3 de biogás e o comportamento do percentual médio de de todos os tratamentos durante todo o processo do experimento.

Figura 7-Produção acumulada de biogás e o comportamento do percentual médio de CH_4 de todos os tratamentos durante o experimento.

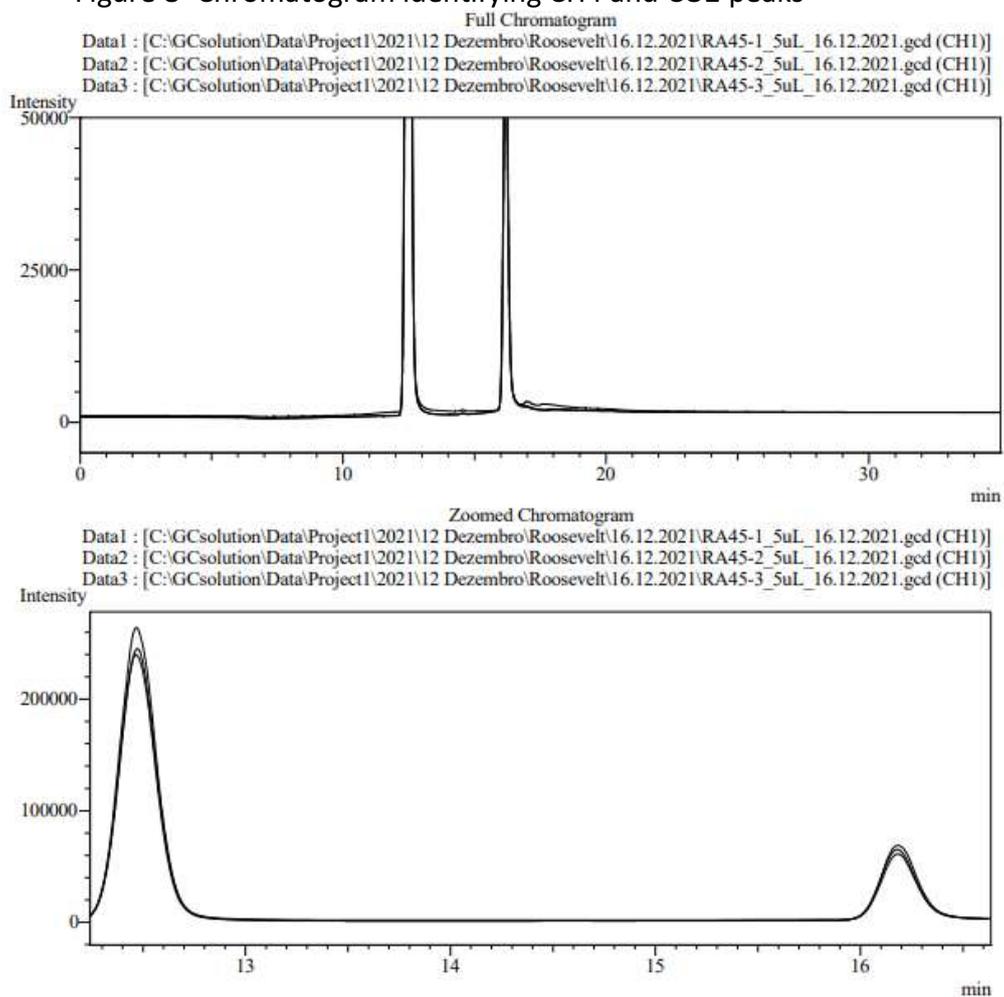
Figure 7- Cumulative production of biogas and the behavior of the average percentage of CH_4 from all treatments during the experiment



Fonte: Os Autores (2022)

Todos os resultados do potencial de produção de biogás foram submetidos à análise de variância do teste Scott-Knott e Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

A composição do biogás e os resultados da geração de biogás e CH_4 obtidos no ensaio de monodigestão através do dejetos do tanque da esterqueira da granja (inóculo) e DLC com deposição de 15, 30 e 45 dias, estão descritos na Tabela 5, através do volume acumulado (Nm^3), e do potencial energético em m^3/kg de substrato e m^3/kg de sólidos totais, após os 15 dias de monitoramento.

Figura 8- Cromatograma identificando os picos de CH₄ e CO₂Figure 8- Chromatogram identifying CH₄ and CO₂ peaks

Fonte: Os Autores (2022)

Tabela 5-Resultados da geração de biogás e CH₄ no ensaio BMP após 15 dias.Table 5-Results from the generation of biogas and CH₄ in the BMP assay after 15 days

Tempo de deposição	Tratamento	% CH ₄	% CO ₂	% Outros Gases	Volume de Biogás Acumulado CNTP m ³	Volume de CH ₄ Acumulado CNTP m ³	m ³ de Biogás / Kg de Substrato	m ³ de Biogás/ kg de Sólidos Totais
Inóculo	T1	29,92 Cc	30,42 Aa	39,65 Aa	0,000042 Cc	0,000012 Dc	0,0002 Cc	0,006 Cc
15 dias	T2	73,86 Aa	19,36 Bb	6,77 Bb	0,000335 Aa	0,000248 Aa	0,0018 Aa	0,048 Aa
30 dias	T3	62,64 Bb	30,14 Aa	7,21 Bb	0,000249 Bab	0,000157 Bab	0,001366 Bab	0,035 Bab
45 dias	T4	57,52 Bb	34,13 Aa	8,34 Bb	0,000195 Bb	0,000113 Cb	0,001066 Bb	0,028 Bb
CV (%)		5	8,13	26,4	22,22	26,63	21,48	21,79

Tabela 6-Resultados da geração de biogás e CH₄ no ensaio BMP após 30 dias.Table 6-Results from the generation of biogas and CH₄ in the BMP test after 30 days

Tempo de deposição	Tratamento	% CH ₄	% CO ₂	% Outros Gases	Volume de Biogás Acumulado CNTP m ³	Volume de CH ₄ Acumulado CNTP m ³	m ³ de Biogás / Kg de Substrato	m ³ de Biogás/ kg de Sólidos Totais
Inóculo	T1	34,51Bb	21,5Bb	43,98Aa	0,000061Cc	0,000021Cc	0,0003C	0,008Cc
15 dias	T2	65,43Aa	19,8Bb	14,76Bb	0,000416Aab	0,000272Bab	0,0023Aab	0,059Aab

30 dias	T3	72,2Aa	24,89Aab	2,9Bb	0,000478Aa	0,000346Aa	0,0026Aa	0,0680Aa
45 dias	T4	66,71Aa	27,77Aa	5,88Bb	0,000325Bb	0,000216Bb	0,0018Bb	0,046Bb
CV (%)		8,88	8,39	32,48	11,87	17,31	11,43	11,94

Tabela 7-Resultados da geração de biogás e CH4 no ensaio BMP após 45 dias

Table 7- Results of biogas and CH4 generation in the BMP test after 45 days

Tempo de deposição	Tratamento	% CH4	% CO2	% Outros Gases	Volume de Biogás Acumulado CNTP m ³	Volume de CH ₄ Acumulado CNTP m ³	m ³ de Biogás / Kg de Substrato	m ³ de Biogás/ kg de Sólidos Totais
Inóculo	T1	36,5Cc	17,98Ab	45,51Aa	0,00009Cc	0,000032Dc	0,0005Cc	0,013Cc
15 dias	T2	74,41Aa	23,17Aab	3,62Bb	0,000478Bb	0,000356Bb	0,0026Bb	0,068Bb
30 dias	T3	73,59Aa	22,39Aab	4,02Bb	0,000784Aa	0,000575Aa	0,0043Aa	0,112Aa
45 dias	T4	56,61Bb	29,16Aa	14,22Bb	0,000372Bb	0,000214Cb	0,002033Bb	0,053Bb
CV (%)		7,83	18,1	39,88	20,68	18,87	20,37	20,62

Nota tabela 5, 6 e 7: Letras maiúsculas indicam teste Scott-Knott e letras minúsculas indicam teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Fonte: Os Autores (2022)

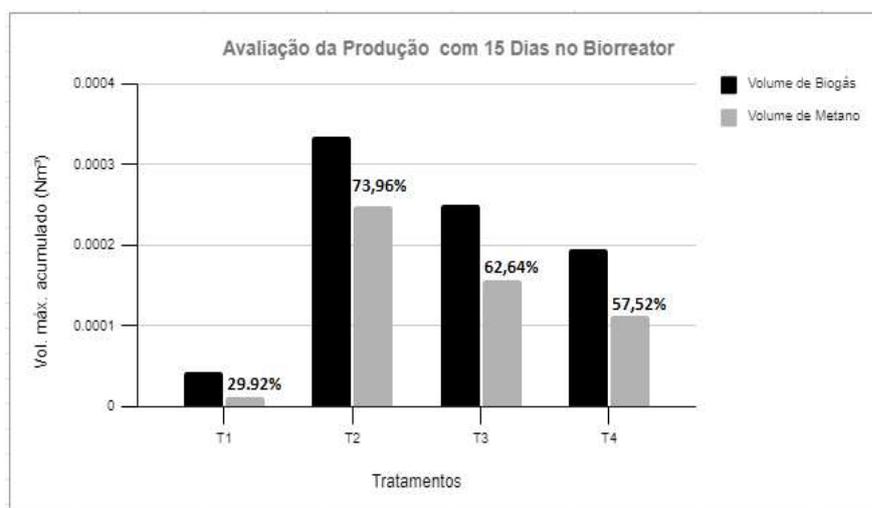
De acordo com a Tabela 5, observa-se um aumento da produção de biogás e CH_4 dos tratamentos T2, T3 e T4 após 15 dias de retenção, quando comparados o volume acumulado (Nm^3), produção de m^3/kg de substrato e m^3/kg de sólidos totais, com o tratamento de controle T1.

Em relação ao biogás, os tratamentos com a adição da deposição de 15, 30 e 45 dias, aumentou o volume acumulado (Nm^3) em 697%, 492%, 364% respectivamente, quando comparado com o tratamento de controle T1. O aumento no percentual de CH_4 também foi identificado nos tratamentos T2, T3 e T4 que obteve mais de 43,94%, 32,72% e 27,6%, respectivamente, que a amostra controle.

Embora todos os tratamentos com adição de DLC tenham apresentado aumento no volume acumulado (Nm^3), o tratamento com adição de deposição de 15 dias (T2) obteve a maior produção de biogás ($0,000335 \text{ m}^3$) e CH_4 ($0,000248 \text{ m}^3$), tendo maior potencial energético expresso em m^3 de produção de biogás por kg de substrato ($0,0018 \text{ m}^3/\text{kg}$) e de sólidos totais ($0,048 \text{ m}^3/\text{kg}$). No entanto, observou-se que o tratamento T2, deve ser utilizado quando o tempo de retenção for 15 dias dentro do biorreator, pois terá a maior geração de biogás e melhor percentual de CH_4 (73,86%), conforme demonstrado na Tabela 5 e no gráfico da Figura 9 a seguir.

Figura 9-Avaliação do volume máximo acumulado de biogás e CH₄ nos 15 primeiros dias de retenção no Biorreator.

Figure -9 Assessment of maximum accumulated volume of biogas and CH₄ in the first 15 retention days in Bioreactors



Fonte: Os Autores (2022)

Os valores percentuais de CH₄ de 15 dias, para as configurações estudadas foram próximos de outros estudos. Fukayama (2008) e Costa (2012), obtiveram valores médios de porcentagem de metano variando de 67 a 82% para resíduos de cama de frango com água adicionada.

Os resultados da geração de biogás e CH₄ obtidos no mesmo ensaio de monodigestão anterior, porém agora analisados com 30 dias de monitoramento, estão descritos na Tabela 6, observa-se também um aumento da produção de biogás e CH₄ dos tratamentos T2, T3 e T4 após 30 dias de retenção, quando comparados o volume acumulado (Nm³), produção de m³/kg de substrato e m³/kg de sólidos totais, com o tratamento de controle T1.

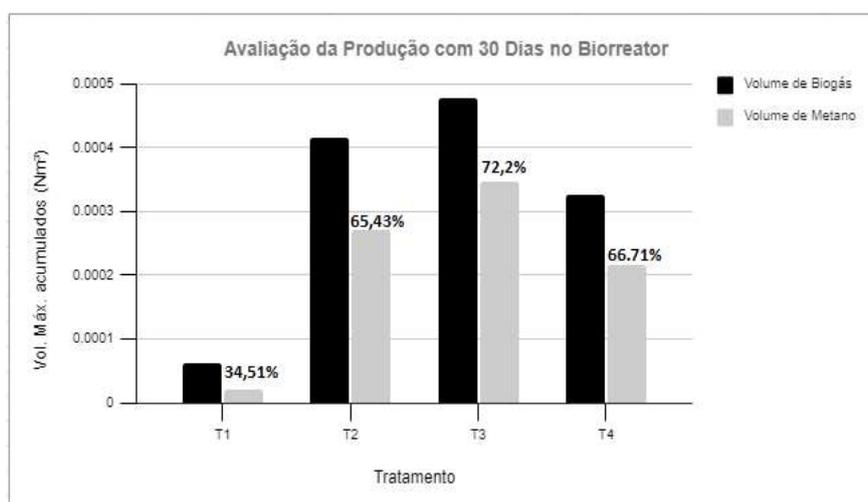
Em relação ao biogás, os tratamentos com a adição da deposição de 15, 30 e 45 dias, aumentaram o volume acumulado (Nm³) em 582%, 683%, 432%, respectivamente, quando comparado com o tratamento de controle T1. O aumento no

percentual de CH₄ também foi identificado nos tratamentos T2, T3 e T4, que obtiveram mais de 30,92%, 37,69% e 32,2%, respectivamente, que a amostra controle.

Todos os tratamentos com adição de DLC apresentaram aumento no volume acumulado (Nm³). O tratamento com adição de deposição de 30 dias (T3) obteve a maior produção de biogás (0,000478 m³) e CH₄ (0,000346 m³), tendo maior potencial energético expresso em m³ de produção de biogás por kg de substrato (0,0026 m³/ kg) e sólidos totais (0,068 m³/kg). No entanto, observou-se que o tratamento T3 deve ser utilizado quando o tempo de retenção for 30 dias dentro do biorreator, pois terá a maior geração de biogás e o melhor percentual de CH₄ (72,2%), conforme demonstrado na Tabela 6 e no gráfico da Figura 10 abaixo.

Figura 10-Avaliação do volume máximo acumulado de biogás e CH₄ nos 30 primeiros dias de retenção no biorreator.

Figure 10 - Assessment of the maximum accumulated volume of biogas and CH₄ in the first 30 days of retention in the bioreactor



Fonte: Os Autores (2022)

Os valores percentuais de CH₄ de 30 dias, para as configurações estudadas foi próximo de outro estudo. Silva *et al.* (2021) obteve porcentagem de CH₄ de 57% para resíduos de codorna + lodo granular.

Já os resultados da geração de biogás e CH₄, com 45 dias de monitoramento, estão descritos na Tabela 7.

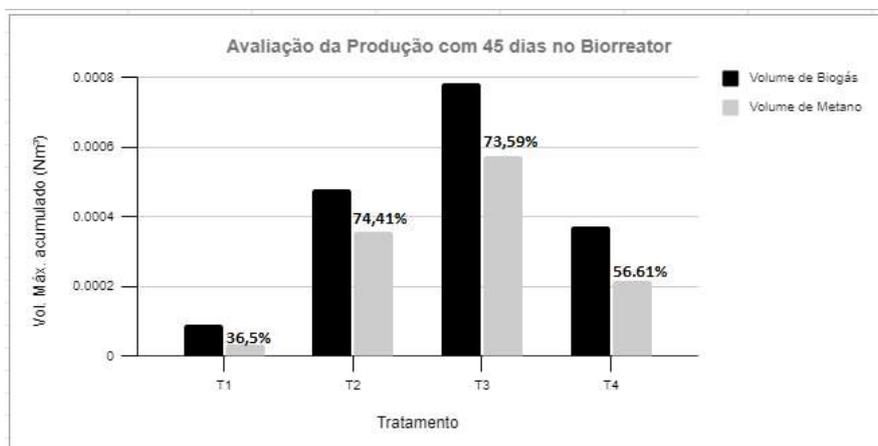
Na Tabela 7, observa-se também um aumento da produção de biogás e CH₄ dos tratamentos T2, T3 e T4 após 45 dias de retenção, quando comparados o volume acumulado (Nm³), produção de m³/kg de substrato e m³/kg de sólidos totais, com o tratamento de controle T1.

Em relação ao biogás, os tratamentos com a adição da deposição de 15, 30 e 45 dias, aumentaram o volume acumulado (Nm³) em 431%, 771%, 413 %, respectivamente, quando comparado com o tratamento de controle T1. O aumento no percentual de CH₄ também foi identificado nos tratamentos T2, T3 e T4, que obtiveram mais de 37,91%, 37,09% e 20,11%, respectivamente, que a amostra controle.

Embora todos os tratamentos com adição de DLC tenham apresentado aumento no volume acumulado (Nm³), o tratamento com adição de deposição de 30 dias (T3) também obteve a maior produção de biogás (0,000784 m³) e CH₄ (0,000575 m³), tendo maior potencial energético expresso em m³ de produção de biogás por kg de substrato (0,0043 m³/ kg) e sólidos totais (0,0112 m³/kg). No entanto, observou-se que o tratamento T3 também deve ser utilizado no tempo de retenção de 45 dias dentro do biorreator, pois terá a maior geração de biogás e CH₄ (Figura 11).

Figura 11-Avaliação do volume máximo acumulado de biogás e CH₄ nos 45 dias de retenção no biorreator.

Figure 11 – Assessment of the maximum accumulated volume of biogas and CH₄ in the 45 days of retention in the bioreactor



Fonte: Os Autores (2022)

Os valores percentuais de CH₄ de 45 dias, para as configurações estudadas foi próximo de outro estudo. Teles (2019) obteve porcentagem de CH₄ de 69% para dejetos de suíno + aves e de 72 % de dejetos de suíno.

Diante dos dados obtidos, observa-se que o T1 (inóculo) obteve a menor geração de biogás quando isolado. Entretanto, as maiores gerações de biogás aconteceram quando foi realizada a monodigestão do inóculo com o dejetos líquido da coturnicultura (DLC), com deposição de 15, 30 e 45 dias.

Essa relação do aumento da geração de biogás, está relacionada ao aumento da matéria orgânica disponibilizada no processo de digestão anaeróbica, conforme constatado nas análises físico-químicas realizadas nos substratos utilizados.

3.4. Conclusão

Conclui-se que, por meio da biodigestão anaeróbica dos dejetos líquidos de codornas, foi possível verificar que a monodigestão possui uma boa relação Carbono e nitrogênio de 2,8:1 quando comparados a dejetos de aves, apresentou também pH estáveis e ideal durante todo o experimento e foi possível constatar o maior percentual de matéria orgânica com 30 dias de deposição.

Referente a média diária da produção de biogás, os tratamentos 1 e 2 tiveram seu maior pico de 10 Nml e 43 Nml de biogás respectivamente, e no início do experimento. Já os tratamentos 3 e 4 tiveram seu maior pico de 48 Nml e 28 Nml de biogás respectivamente, e no final do experimento

Já o percentual acumulado de biogás em relação a linha do tempo no experimento, observamos que os tratamentos 1 e 3 atingiu os 70 % da produção somente 33 dias após início do experimento, diferentemente do tratamento 2 que atingiu os 70 % da produção 15 dias após inicio do experimento.

Diante dos resultados da geração de biogás e metano obtidos no experimento, observamos que deve-se utilizar diferentes tratamentos quando for optar por diferente tempo de retenção hídrica no biorreator. Caso utilizar o tempo de retenção

hídrica de 15 dias, o melhor tratamento a ser utilizado será o tratamento 2, pois terá maior geração de biogás ($0,000335\text{Nm}^3$) e o melhor percentual de CH_4 (73,86%). Agora se utilizar o tempo de retenção hídrica de 30 dias, o melhor tratamento a ser utilizado será o tratamento 3, pois terá a maior geração de biogás ($0,000478\text{ Nm}^3$) e o melhor percentual de CH_4 (72,2%). Ou caso ainda optar em utilizar o tempo de retenção hídrica de 45 dias, o melhor tratamento a ser utilizado será o tratamento 3, pois terá maior geração de biogás($0,000784\text{ Nm}^3$) e o melhor percentual de CH_4 (73,59%).

Assim concluimos que o dejetos líquido da coturnicultura (DLC), com sistema de tratamento lâmina d'água, tem potencial de produção de biogás em biorreatores anaeróbicos de batelada, que ajudam a reduzir os impactos ambientais produzidos, ou seja, gera fertilizantes orgânicos (efluentes do biorreator) para agricultura, sem perda de produção de ovos.

4. POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA COM O USO DO BIOGÁS PRODUZIDO ATRAVÉS DA BIOMASSA GERADA EM UMA COTURNICULTURA COM SISTEMA DE TRATAMENTO POR LÂMINA D'ÁGUA NA ZONA RURAL DE MASSARANDUBA/SC²

POTENTIAL FOR GENERATING ELECTRICITY WITH THE USE OF BIOGAS PRODUCED FROM BIOMASS GENERATED IN A COTURNICULTURE WITH A WATER DEPTH TREATMENT SYSTEM IN THE RURAL AREA OF MASSARANDUBA/SC

Resumo

A crescente demanda por energia faz com que novas fontes energéticas sejam mais aproveitadas. Uma grande alternativa para o crescimento de novas fontes pode ser a utilização da biomassa em sistemas de biodigestão anaeróbica, em que o substrato orgânico é degradado e transformado em energia e biofertilizante. Nesse sentido, surge o interesse em obter energia através da biomassa gerada na coturnicultura com sistema de tratamento por lâmina d'água. Esta biomassa de origem orgânica tem a vantagem de produzir energia limpa/verde, a qual pode ser disponibilizada em forma de calor através da queima do biogás e da eletricidade a partir do biocombustível (biogás) para alimentar grupos geradores (motores). O estudo teve o objetivo de verificar o potencial para a geração de energia com o uso do biogás gerado em uma coturnicultura com sistema de tratamento por lâmina d'água. O método adotado para a determinação na produção de CH₄ foi o ensaio do BMP (Biochemical methane potential) através de biorreatores em bancada. Para verificar a geração de energia elétrica foi proposta a utilização de um motogerador com uso do biogás como combustível. No estudo realizado, foi verificado que 1 m³ de biomassa dos dejetos líquidos da coturnicultura (DLC), produz 4,36 m³ de biogás a cada 45 dias de retenção no biorreator, e quando convertido em energia elétrica através do uso de um motogerador utilizando como combustível o biogás, obtêm-se o valor de 9,30 kwh/dia ou 104,64 kwh/45 dias.

Palavras-chave: Biomassa; Fontes energéticas; Biogás.

ABSTRACT

The growing demand for energy means that new energy sources are more used. A great alternative for the growth of new sources can be the use of biomass in anaerobic

2 Proposta de submissão de artigo para Brazilian Journal of Environmental Science :
https://www.rbciamb.com.br/index.php/publicacoes_RCBCIAMB

biodigestion systems, in which the organic substrate is degraded and transformed into energy and biofertilizer. In this sense, there is an interest in obtaining energy from the biomass generated in quail farming with a water depth treatment system. This biomass of organic origin has the advantage of producing clean/green energy, which can be made available in the form of heat through the burning of biogas and electricity from biofuel (biogas) to power generator sets (engines). The study aimed to verify the potential for energy generation with the use of biogas generated in a quail farm with a water depth treatment system. The method adopted for the determination of methane production was the BMP test (Biochemical methane potential) using benchtop bioreactors. To verify the generation of electric energy, it was proposed the use of a motor generator with the use of biogas as fuel. In the study carried out, it was verified that 1 m³ of biomass from liquid quail farming waste (DLC) produces 4.36 m³ of biogas every 45 days of retention in the bioreactor, and when converted into electricity through the use of a motor generator using as fuel or biogas, a value of 9.30 kWh/day or 104.64 kWh/45 days is obtained. The method adopted for the determination of methane production was the BMP test (Biochemical methane potential) using benchtop bioreactors. To verify the generation of electric energy, it was proposed the use of a motor generator with the use of biogas as fuel. In the study carried out, it was verified that 1 m³ of biomass from liquid quail farming waste (DLC) produces 4.36 m³ of biogas every 45 days of retention in the bioreactor, and when converted into electricity through the use of a motor generator using as fuel or biogas, a value of 9.30 kWh/day or 104.64 kWh/45 days is obtained. The method adopted for the determination of methane production was the BMP test (Biochemical methane potential) using benchtop bioreactors. To verify the generation of electric energy, it was proposed the use of a motor generator with the use of biogas as fuel. In the study carried out, it was verified that 1 m³ of biomass from liquid quail farming waste (DLC) produces 4.36 m³ of biogas every 45 days of retention in the bioreactor, and when converted into electricity through the use of a motor generator using as fuel or biogas, a value of 9.30 kWh/day or 104.64 kWh/45 days is obtained.

Key words: Biomass; Energy sources; Biogas.

4.1. Introdução

Está ocorrendo uma transição no setor energético em busca de uma menor dependência de combustíveis fósseis através de geração de energia limpa, em especial, de fontes renováveis (MENDEZ *et al.*, 2013).

Em um futuro não muito distante, existe a tendência de se esgotar as fontes tradicionais de energia como o carvão e o petróleo e, por isso, é emergencial a busca

por novas fontes de energia, em especial as de recursos renováveis, que sejam limpas. As fontes tradicionais apresentam-se ainda com custos crescentes de produção e impactos socioambientais relevantes enquanto que o aproveitamento de fontes renováveis como a biomassa (destaque para o biogás) é visto como fonte privilegiada (MILANEZ *et al.*, 2018).

O aproveitamento do biogás gerado a partir da biodigestão anaeróbica tem se tornado uma escolha eficiente para o tratamento dos dejetos de animais. Vale ressaltar que este dejetos requer atenção especial, pois caso não seja manejado de maneira correta poderá causar danos ambientais, como contaminação do ar e do lençol freático (DEUBLEIN; STEINHAUSER, 2011).

O Brasil, em 2020, tinha 16,7 milhões de codornas, sendo o estado do Espírito Santo com maior rebanho de codornas, seguido respectivamente dos estados de São Paulo, Minas Gerais, Santa Catarina e Ceará (IBGE, 2020). Com intensificação da atividade da coturnicultura de postura, tem-se como consequência o aumento da geração dos dejetos das codornas.

No passado, os dejetos não tinham valor agregado no sistema produtivo, tornando-se uma fonte de poluição. Hoje, a produção de dejetos tem um valor energético considerável, com potencial de aproveitamento e ainda possibilidade de redução do impacto ambiental negativo (HACHMANN *et al.*, 2013).

A destinação final dos dejetos das aves de postura, de forma racional, ambiental e econômica, com a finalidade de alcançar o potencial energético e a minimização do impacto ambiental negativo, pode ser alcançada através da digestão anaeróbica (PINHEIRO *et al.*, 2022). A digestão anaeróbia apresenta-se como uma das mais vantajosas, uma vez que, após o processo de fermentação, é obtido o biogás e o fertilizante, que possuem alto valor como fontes energéticas (PALHARES, 2004).

Nos dias atuais, a sociedade mundial tem uma matriz de produção de energia elétrica formada principalmente por fontes não renováveis, como o carvão mineral, o petróleo e o gás natural (IEA, 2019). No Brasil, ocorre o inverso do restante do mundo, pois o país apresenta uma matriz elétrica predominantemente renovável, contando

com 82% de sua capacidade de geração de energia provenientes de fontes renováveis, como: solar, eólica, biomassa e hidráulica (EPE, 2016).

A utilização de energias renováveis está contribuindo para diminuir as emissões dos gases do efeito estufa. É uma das fontes de energia que possui grande potencial no Brasil é a biomassa, a qual se constitui em resíduos agrícolas, tanto animal quanto vegetal, resíduos de agroindústrias, e culturas energéticas (RÊGO *et al.*, 2020; BRITO *et al.*, 2020; QUEIROZ *et al.*, 2021).

No ano de 2012, a ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, com o propósito de normatizar a geração distribuída de eletricidade com fontes renováveis, publicou a Resolução Normativa (RN) nº 482/2012, a qual regulamenta a produção de energia elétrica por meio de pequenas centrais geradoras (micro e minigeração de energia) e estabeleceu o Sistema de Compensação de Energia Elétrica. Este sistema permite que a energia elétrica gerada seja utilizada na própria unidade consumidora e o excedente seja distribuído na rede para que, nas próximas faturas, seja compensado como crédito de energia (WEIRICH, 2021).

A oportunidade de criação de fontes energéticas descentralizadas e de pequena escala é de extrema importância para buscar a sustentabilidade. As unidades que operam com fontes renováveis e não exigem alta tecnologia para instalação ou mão de obra especializada para sua execução são os modelos ideais para atender os produtores rurais a fim de reduzir sua demanda das concessionárias de energia elétrica (COLDEBELLA, 2006).

Atualmente, com as diversas opções de biomassa, houve um crescimento no uso das fontes alternativas de energia devido à crescente demanda do consumo e também à necessidade de se utilizar fontes renováveis e sustentáveis para gerar energia elétrica.

Para atingir o efeito de crescimento em fontes renováveis como a biomassa se faz necessário avaliar o potencial de biodegradabilidade dos substratos e seus potenciais de produção de biogás. O teste do BMP é, hoje, o parâmetro mais relevante para estimar o potencial de produção de bioenergia acumulada na forma de CH₄

(TRIOLO *et al.*, 2011). De acordo com Angelidaki *et al.* (2009), o biogás produzido pode ser medido por meio de diferentes técnicas, tais como: métodos volumétricos, manométricos, métodos de cromatografia gasosa com detectores de ionização por chama ou condutividade térmica.

A biomassa possui energia química da transformação energética provida pela radiação solar e essa energia pode ser disponibilizada pela combustão direta ou convertida em outras fontes de energia, através de outros processos tecnológicos (NOGUEIRA; LORA, 2003).

Entretanto, para utilizar o biogás como combustível em motores, será necessário identificar a sua produção, a composição química e os parâmetros que determinam o real potencial de geração de energia elétrica.

Na atualidade, tem-se diversas tecnologias para realizar a conversão energética do biogás. Compreende-se por conversão energética o processo que modifica um tipo de energia em outro, como por exemplo o biogás, em que a energia química contida em suas moléculas é convertida em energia mecânica através de um processo de combustão interna do tipo “Ciclo – Otto” (motores de combustão interna). Essa tecnologia de combustão interna é a de uso mais frequente, segundo Coelho *et al.* (2006).

Nesse contexto, o objetivo principal desse estudo foi verificar o potencial para a geração de energia com o uso do biogás gerado através da biomassa produzida em uma coturnicultura com sistema de tratamento por lâmina d’água na zona rural de Massaranduba - SC.

4.2. Materiais e Métodos

Para verificar o potencial de geração de energia elétrica com o uso do biogás produzido através da biomassa gerada em uma coturnicultura, foi realizada pesquisa em granja de codornas localizada no município de Massaranduba, Estado de Santa

Catarina, situada na Latitude $-26^{\circ} 34' 30''$ sul e Longitude: $-48^{\circ} 55' 04''$ oeste. A Figura 12 mostra a localização da propriedade em estudo.

Figura 12-Localização da coturnicultura com sistema de tratamento por lâmina d'água no município de Massaranduba -SC.

Figure 12-Location of coturniculture with water depth treatment system in the city of Massaranduba -SC.



Fonte: Google Earth (2022).

Os proprietários da granja dedicam-se à agricultura familiar e à granja de produção de ovos de codornas, equipada com sistema de tratamento de dejetos por lâmina d'água, com plantel de 32 mil aves de postura criadas em gaiolas suspensas. A principal atividade da granja é a produção e comercialização de ovos na região. Os dejetos da coturnicultura gerados pelo sistema de produção são depositados em um sistema de tratamento por lâmina d'água e, em seguida, conduzidos a uma esterqueira, que depois de tratado, será utilizado como biofertilizante para fertirrigação.

Para alcançar o objetivo proposto, foi utilizado o Ensaio BMP (*Biochemical methane potential*), pelo qual é possível quantificar e qualificar a produção de biogás produzido pela biomassa e, posteriormente, estimar a geração de energia elétrica na coturnicultura. Nesse sentido, foram feitas as análises, seguindo as etapas a seguir.

4.2.1. Determinação na produção de metano

Para a composição experimental, utilizaram-se amostras de DLC de três concentrações de deposição, 15, 30 e 45 dias (substrato + inóculo) e o inóculo, configurando-se quatro tratamentos em triplicata. Foram analisados os dados de geração e produção de biogás e CH₄ após 45 dias, com a leitura da pressão dos manômetros e análise cromatográfica do gás de alívio. Para o inóculo, utilizou-se o dejetado do tanque da esterqueira da granja de produção de ovos de codornas. A realização do ensaio confeccionou biorreatores em bancada de volume de 250 mL e em condições mesófilas (37±2°C) através de uma estufa de laboratório. O teste foi realizado com a relação substrato/inóculo (5:1), no qual pretendeu analisar a produção e o percentual de biogás e CH₄. O tempo de retenção hídrica (TRH) nos biorreatores foi de 45 dias.

4.2.2. Geração de energia elétrica a partir do biogás

Após mensurar a produção total de biogás, o estudo considerou a utilização do biodigestor acoplado ao motogerador para a conversão do biogás em energia elétrica. De acordo com a metodologia do Centro para Convenção de Energia (CCE, 2000) adaptada por Marques (2012), ao adaptar o motogerador de origem a diesel para o uso do biogás como combustível, há um resultado de equivalência de 25% na transformação do biogás em energia elétrica.

A metodologia utilizada por Marques (2012) monitorou o consumo de biogás (m³.h⁻¹) no motor na geração de energia elétrica (kWh), através de um medidor de fluxo de massa de dispersão térmica, modelo Thermatel TA2 Enhanced.

Já para identificar a qualidade do biogás (percentual de CH₄), o autor utilizou um analisador para gases do tipo Drager X- am 7000 e a produção de energia elétrica (kWh) foi obtida através de um medidor e registrador portátil (SMART METER T), que

possibilitou gerar gráficos e relatórios em conformidade com a resolução 505 da ANEEL.

Ao final do estudo e com os valores de combustível consumido, potência medida e tempo (horas), foram calculados o consumo específico de combustível e a eficiência do sistema motor gerador, conforme as equações 1 e 2 (MIALHE, 1996 *apud* MARQUES, 2012) a seguir:

Equação 1: Consumo específico de combustível (C_e), em $\text{m}^3.\text{kWh}^{-1}$

$$C_e = \frac{Ch}{P_e}$$

onde: Ch é o consumo horário de biogás ($\text{m}^3.\text{h}^{-1}$)

P_e é a potência ativa

Equação 2: Eficiência da Conversão de Biogás em Energia Elétrica

$$\eta = \frac{P_e}{Ch \cdot PCI}$$

onde : η é a eficiência do sistema motor gerador

PCI é o poder calorífico inferior do biogás ($\text{kWh}.\text{m}^3$)

4.3. Resultados e Discussão

Conforme o método proposto no estudo, foi realizado o ensaio de BMP, a fim de obter a produção de biogás por m^3 de biomassa de DLC e também a estimativa da geração de energia elétrica a partir do biogás.

4.3.1. Avaliação da Produção de Biogás e Metano

A composição do biogás e os resultados da geração de biogás e CH₄ obtidos a partir do ensaio, contendo o dejetos do tanque da esterqueira da granja (inóculo) e DLC com deposição de 15, 30 e 45 dias, estão descritos na Tabela 8, através do volume de biogás e CH₄ acumulado em condições normais de temperatura e pressão (Nm³).

Tabela 8-Resultados da geração de biogás e CH₄ no ensaio BMP após 45 dias de retenção no biorreator.

Table 8-Results of biogas and CH₄ generation in the BMP assay after 45 days of retention in the bioreactor

Tempo de deposição	Tratamento	% CH ₄	% CO ₂	Volume de Biogás Acumulado CNTP m ³	Volume de CH ₄ Acumulado CNTP m ³	m ³ de Biogás /m ³ de Biomassa
Inóculo	T1	36,5Cc	17,98Ab	0,00009Cc	0,000032Dc	0,5Cc
15 dias	T2	74,41Aa	23,17Aab	0,000478Bb	0,000356Bb	2,65Bb
30 dias	T3	73,59Aa	22,39Aab	0,000784Aa	0,000575Aa	4,36Aa
45 dias	T4	56,61Bb	29,16Aa	0,000372Bb	0,000214Cb	2,07Bb
CV (%)		7,83	18,1	20,68	18,87	20,63

Legenda: T1= dejetos do tanque da esterqueira da granja; T2 = dejetos líquidos da coturnicultura com deposição de 15 dias; T3= dejetos líquidos da coturnicultura com deposição de 30 dias; T4 = dejetos líquidos da coturnicultura com deposição de 45 dias.

Nota: Letras maiúsculas indicam teste Scott-Knott e letras minúsculas indicam teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Fonte: Os Autores (2022).

Na Tabela 8, observa-se também um aumento da produção de biogás e CH₄ dos tratamentos T2, T3 e T4 após 45 dias de retenção, quando comparados o volume acumulado (Nm³) e m³ de biogás/m³ de biomassa, com o tratamento de controle T1.

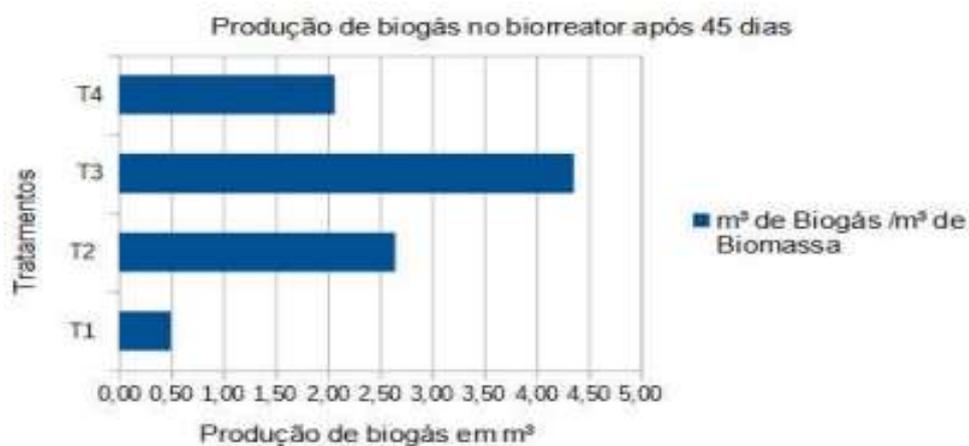
O aumento no percentual de CH₄ também foi identificado nos tratamentos T2, T3 e T4, que obtiveram mais de 37,91%, 37,09% e 20,11%, respectivamente, que a amostra controle.

Embora todos os tratamentos com adição de DLC tenham apresentado aumento no volume acumulado (Nm³), o tratamento com adição de deposição de 30

dias (T3) também obteve a maior produção de biogás (0,000784 m³) e CH₄ (0,000575 m³), tendo maior potencial energético expresso em m³ de produção de biogás por m³ de biomassa (4,36 m³). No entanto, observou-se que o tratamento T3 terá a maior geração de biogás e CH₄ (Figura 13).

Figura 13-Produção do Biogás gerada através da biomassa do dejetto líquido da coturnicultura com 45 dias de retenção no biorreator.

Figure 13-Biogas production generated through the biomass of liquid waste from quail farming with 45 days of retention in the bioreactor



Fonte: Os Autores (2022)

Lucas Jr. *et al.* (1997) *apud* Lucas Jr. e Santos (2000) estudaram a biodigestão anaeróbia dos resíduos da coturnicultura em biodigestores contínuos, sob quatro tempos de retenção hídrica (TRH) de 30, 20, 15 e 10 dias e obtiveram significativo potencial para produção de biogás de 2,47 m³; 1,90 m³; 1,29 m³; 1,11 m³, por m³ biodigestor, respectivamente, ao THR. Assim, pode-se inferir que os resultados obtidos neste estudo são próximos aos encontrados por Lucas Jr. *et al.* (1998) quando comparados com o tempo de retenção hídrica.

4.3.2. Avaliação de geração de energia elétrica a partir do biogás

A quantidade de m³ produzidos na coturnicultura com sistema de tratamento por lâmina d'água é atualmente de 96 m³ a cada 45 dias. Em uma simulação, caso fosse instalado um biodigestor na propriedade, este poderia produzir 4,36 m³ de biogás por m³ de biomassa, de acordo com os resultados obtidos no teste BMP, totalizando 418,56 m³ de biogás produzidos a cada 45 dias. Com este volume de biogás produzido com o DLC, e sendo convertido em energia elétrica através do uso de um motogerador utilizando como combustível o biogás, se chegaria a um valor de 9,30 kwh/dia ou 104,64 kwh/45 dias.

Analisando uma fatura de energia elétrica disponibilizada pela propriedade, foi possível identificar o consumo médio de 23,20 kwh/dia e consumo médio faturado por mês de 571kwh/30 dias. Ao realizar uma comparação do consumo de energia elétrica da propriedade com a energia elétrica que será produzida a partir do biogás, constata-se que a propriedade não teria condições de ser autossuficiente, considerando a atual quantidade de biomassa gerada pelo DLC.

Com o objetivo de aprimorar sistemas deste tipo, sugere-se como proposta a transformação da esterqueira em biodigestor. Para isso, os dispositivos de entrada e saída deverão ser modificados com tubulações e também deverão ser acrescentados a colocação de uma manta com lastro e selo hídrico, conforme recomendam Ranzi e Andrade (2003).

4.4. Conclusão

Essa pesquisa teve o intuito de verificar o potencial para a geração de energia com o uso do biogás gerado através da biomassa produzida em uma coturnicultura com sistema de tratamento por lâmina d'água na zona rural de Massaranduba-SC. Para isso, foi utilizado o método BMP, chegando-se à conclusão de que é viável, do ponto de vista técnico, a implantação de um biodigestor acoplado ao motogerador. Já do ponto de vista ambiental, embora os impactos ambientais e a viabilidade econômica não tenham sido abordados diretamente neste estudo, é possível dizer

que alguns impactos ambientais negativos se transformarão em impactos ambientais positivos, tanto para o meio ambiente, como para o coturnicultor, como por exemplo a minimização da liberação de gases nocivos e a redução dos custos econômicos através do biofertilizante e da geração de energia para consumo próprio na atividade.

Por fim, entende-se que esse estudo contribuiu para o entendimento de que a atividade rural em conjunto com a tecnologia atual possui potencial para estabelecer uma relação harmônica com o meio ambiente, tendo como um de seus resultados as novas fontes de energia limpa e sustentáveis para o Brasil.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os dejetos líquidos da coturnicultura com sistema de tratamento por lâmina d'água demonstraram ser bons substratos para o processo de digestão anaeróbia, apresentando potencial energético para a utilização desses materiais como fonte alternativa de energia.

O ensaio BMP se apresenta como uma excelente ferramenta experimental para determinação do potencial de geração de biogás de dejetos líquidos de codornas.

Os inóculos utilizados neste trabalho demonstraram boa adaptação aos substratos e ao processo como um todo. Este fato foi evidenciado pelos potenciais de produção de biogás mais elevados alcançados pelos substratos com adição de inóculo quando comparados sem adição de inóculo. Ressalta-se também que a utilização de um inóculo com uma população microbiana adaptada ao dejetos favoreceu a partida do processo, assim como melhorou o desempenho dos biodigestores.

O melhor potencial de geração de biogás dos dejetos líquidos da coturnicultura de Massaranbuba-SC obtido nos ensaios foi de $0,0112\text{m}^3/\text{kg}$ de sólidos totais, no tratamento com adição de deposição de 30 dias (T3). Este potencial pode representar que 1 m^3 de biomassa dos dejetos líquidos da coturnicultura (DLC), produz $4,36\text{ m}^3$ de biogás a cada 45 dias de retenção no biorreator e, quando convertido em energia elétrica através do uso de um motogerador utilizando como combustível o biogás, obtêm-se o valor de $9,30\text{ kwh/dia}$ ou $104,64\text{ kwh/45 dias}$.

6. REFERÊNCIAS

ALVES, A. D. **Avaliação de compostos orgânicos provenientes de resíduos da agropecuária para o cultivo de alface (*lactuca sativa*)**. 2018. 34f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Orgânica), Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Disponível em: <<https://tede.ufrj.br/jspui/handle/jspui/4628#preview-link0>>. Acesso em: 19 mai. 2022.

ANGELIDAKI, I.; ALVES, M.; BOLZONELLA, D.; BORZACONNI, L.; GUWY, A. J.; KALYUZHNYI, S.; JENICEK, P.; VAN LIER, J. B. Defining the biomethane potential (BMP) of solid organic wastes and energy crops: a proposed protocol for batch assays. **Water Science and Technology**, v. 59, n. 5, p. 927–934, 2009. Disponível em: <<https://iwaponline.com/wst/article-abstract/59/5/927/15563/Defining-the-biomethane-potential-BMP-of-solid>>. Acesso em: 12 jul. 2022.

APPELS, L.; BAEYENS, J.; DEGRÈVE, J.; DEWIL, R. Principles and potential of the anaerobic digestion of waste-activated sludge. **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 34, n. 6, p. 755–781, 2008. Disponível em <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360128508000312>>. Acesso em: 18 dez. 2022.

BLASIUS, J. P. **Influência de diferentes composições de resíduos alimentares no processo de biometanização**. 2019. 113f. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (Unesp). Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/handle/11449/181887>>. Acesso em: 17 ago. 2022.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA. **Plano setorial de mitigação e adaptação às mudanças climáticas para consolidação da economia de baixa emissão de carbono na agricultura**. Brasília: MAPA/AC, 2012. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/plano-abc/arquivo-publicacoes-plano-abc/download.pdf>>. Acesso em: 04 mai. 2022.

BRITO, M. R.; OUTA, R.; CHAVARETTE, F. R.; GONÇALVES, A. C.; ALBUQUERQUE, M. C. F.; MIRANDA, R. S. Análise das propriedades do biodiesel da polpa do abacate como lubrificante: teste pin on disk. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 7, e136973886, p. 1-18, 2020. Disponível em <https://www.researchgate.net/publication/341261895_Analise_das_propriedades_d_o_biodiesel_da_polpa_do_abacate_como_lubrificante_teste_pin_on_disk/fulltext/5eb6101d4585152169c10118/Analise-das-propriedades-do-biodiesel-da-polpa-do-abacate-como-lubrificante-teste-pin-on-disk.pdf>. Acesso em 19 dez. 2022.

CABIROL, N.; BARRAGÁN, E. J.; DURÁN, A.; NOYOLA, A. Effect of aluminium and sulphate on anaerobic digestion of sludge from wastewater enhanced primary treatment. **Water Science and Technology**: a journal of the Association on Water Pollution Research, v. 48, n. 6, p. 235–240, 2003. Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/14640223/#:~:text=it%20was%20found%20that%20at,the%20same%20type%20of%20bacteria>>. Acesso em 16 dez. 2022.

CAPSON-TOJO, G.; ROUEZ, M.; CREST, M.; STEYER, J. P.; DELGENÈS, J. P.; ESCUDIÉ, R. Food waste valorization via anaerobic processes: a review. **Reviews in Environmental Science and Bio/Technology**, v. 15, n. 3, p. 499–547, 2016. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s11157-016-9405-y>>. Acesso em 04 mai. 2022.

CENTRO PARA CONVENÇÃO DE ENERGIA – CCE. **Guia Técnico do Biogás**. Algés: Ed. JE92 Projetos de Marketing Ltda., junho 2000.

CHEN, Y.; CHENG, J. J.; CREAMER, K. S. Inhibition of anaerobic digestion process: a review. **Bioresource technology**, v. 99, n. 10, p. 4044–64, jul. 2008. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852407001563>>. Acesso em 17 dez. 2022.

COELHO, S. T.; VELÁSQUEZ, S. M. S. G.; SILVA, O. C.; PECORA, V.; ABREU, F. C. **Geração de energia elétrica a partir do biogás proveniente do tratamento de esgoto**. Campinas/SP: 2006. Disponível em: <<http://www.proceedings.scielo.br/pdf/agrener/n6v1/070.pdf>>. Acesso em: 14 abr. 2022.

COLDEBELLA, A. **Viabilidade do uso do biogás da bovinocultura e suinocultura para geração de energia elétrica e irrigação em propriedades rurais**. 2006. 73f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Disponível em: <<https://tede.unioeste.br/handle/tede/2841>>. Acesso em: 28 jun. 2022.

COSTA, D. F. **Biomassa como fonte de energia, conversão e utilização**. 2002. Monografia (Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia), Instituto de Eletrotécnica e Energia, Universidade de São Paulo.

COSTA, L. V. C. da. **Produção de biogás utilizando cama de frango diluída em água e em biofertilizante de dejetos de suínos**. 2012. 90f. Tese (Doutorado em Agronomia), Faculdade de Ciências Agrônômicas da Unesp, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/handle/11449/101710>>. Acesso em 20 dez. 2022.

DE BONA, E.; STEINMETZ, R.; SOMER, J.; LINS, L.; VIANCELLI, A.; KUNZ. Cama de Frango como substrato para a produção de biogás após diferentes períodos de estocagem. In: **Anais do V Simpósio Internacional sobre Gerenciamento de Resíduos Agropecuários e Agroindustriais**. 09 a 11 de maio de 2017, Foz do Iguaçu, p. 451–455, 2017. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/165642/1/final8602.pdf>>. Acesso em: 04 abr. 2022.

DEUBLEIN, D.; STEINHAUSER, A. **Biogas from waste and renewable resources**. 2 ed. Weinheim: Wiley-VCH, 2011.

DIAS, C. A.; BITENCOURT, M. I. P.; BEUX, S. Estimativa do desempenho das lagoas de estabilização em um laticínio. *Synergismus Scientifica*, v. 1, n. 2, p. 25-30, 2006. Disponível em: <http://revistas.utfpr.edu.br/pb/index.php/SysScy/article/view/2491>. Acesso em: 14 jul. 2022.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Balanco Energético Nacional. Relatório síntese: ano-base 2015**. Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-126/topico-92/Relat%C3%B3rio_S%C3%Adntese_2016.pdf. Acesso em: 11 ago. 2022.

ESPOSITO, G.; LIOTTA, F.; PANICO, A.; PIROZZI, F. Bio-Methane Potential Tests To Measure The Biogas Production From The Digestion and Co-Digestion of Complex Organic Substrates. *The Open Environmental Engineering Journal*, v. 5, p. 1-8, 2012. Disponível em: <<https://benthamopen.com/contents/pdf/TOENVIEJ/TOENVIEJ-5-1.pdf>>. Acesso em: 03 set. 2022.

FIRMO, A. L. B. **Estudo numérico e experimental da degradação de biogás a partir da biodegradação de resíduos sólidos**. 2013. 268f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Pernambuco. Disponível em: <<https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/12875>>. Acesso em 28 jul. 2022.

FUKAYAMA, E. H. **Características quantitativas e qualitativas da cama de frango sob diferentes reutilizações: efeitos na produção de biogás e biofertilizante**. 2008. 121f. Tese (Doutorado em Zootecnia), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Disponível em: <<http://javalı.fcav.unesp.br/sgcd/Home/download/pgtrabs/zoo/d/2833.pdf>>. Acesso em 16 dez. 2022.

HACHMANN, T. L.; LAURETH, J. C. U.; PARIZOTTO, A. A.; GONÇALVES JÚNIOR, A. C. Resíduos de aves e suínos: Potencialidades. *Revista Verde de Agroecologia e*

Desenvolvimento Sustentável, v. 8, n. 5, p. 59-65, 2013. Disponível em: <<https://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/2368>>. Acesso em: 24 jul. 2022.

HANSEN, T. L.; SCHMIDT, J. E.; ANGELIDAKI, I.; MARCA, E.; JANSEN, J. L. C.; MOSBÆK, H.; CHRISTENSEN, T. H. Method for determination of methane potentials of solid organic waste. **Waste Management**, v. 24, n. 4, 393–400, 2004. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X0300223X>>. Acesso em: 15 mai. 2022.

HARRIES C. R.; CROSS C. J.; SMITH, R. Development of a biochemical methane potential (BMP) test and application to testing of municipal solid waste samples. In: **Anais do Simpósio Internacional de Gerenciamento de Resíduos e Aterros Sanitários**. Cagliari, Italy: v. 1, 2001. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/313069377_Development_of_a_biochemical_methane_potential_BMP_test_and_application_to_testing_of_municipal_solid_waste_samples>. Acesso em: 11 jul. 2022.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY - IEA. **Matriz energética mundial 2016**. França, 2019. Disponível em: <https://www.iea.org/data-and-statistics>. Acesso em: 11 ago. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Produção Agropecuária 2020**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria>>. Acesso em: 15 set. 2022.

JURGUTIS, L.; SLEPETIENE, A.; VOLUNGEVICIUS, J.; AMALEVICIUTE-VOLUNGE, K. Biogas production from chicken manure at different organic loading rates in a mesophilic full scale anaerobic digestion plant. **Biomass and Bioenergy**, v. 141, out. 2020. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953420302270>>. Acesso em: 16 jul. 2022.

KUNZ, A. **Biodigestão anaeróbia, parâmetros de interesse e manejo de instalações**. In: Capacitação em tecnologias do biogás para operação e tomada de decisão em condomínios de agroenergia. Foz do Iguaçu, 2011.

KUNZ, A.; ENCARNAÇÃO, R. **Tratamento de dejetos de animais**. In: GEBLER, L.; PALHARES, J. C. P. *Gestão Ambiental na Agropecuária*. 21. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p. 167-191, 2007.

LUCAS JR. J., SANTOS T. M. B. **Aproveitamento de resíduos da indústria avícola para produção de biogás**. In: Simpósio sobre Resíduos da Produção Avícola, Concórdia/SC, 2000.

LUCAS JR., J.; SANTOS, T. M. B. **Biodigestão anaeróbia de dejetos de aves de postura, considerando quatro tempos de retenção hidráulica.** In: BALBUENA *et al.* (Ed.). *Ingeniería Rural y Mecanización en el Ámbito Latinoamericano* La Plata: UNLP, 1998, p. 346-351.

MARCHIORO, V.; STEINMETZ, R. L. R.; AMARAL, A. C.; GASPARETO, T. C.; TREICHEL, H.; KUNZ, A. Poultry Litter Solid State Anaerobic Digestion: Effect of Digestate Recirculation Intervals and Substrate/Inoculum Ratios on Process Efficiency. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 2, p. 1-10, ago. 2018. Disponível em: <<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fsufs.2018.00046/full>>. Acesso em: 23 abr. 2022.

MARQUES, C. A. Microgeração de energia elétrica em uma propriedade rural utilizando biogás como fonte primária de energia elétrica. 2012. 81f. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura), Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Disponível em: <<https://tede.unioeste.br/handle/tede/819?mode=full>>. Acesso em: 19 jun. 2022.

MENDEZ, L. F. R.; ERTHAL JÚNIOR, M.; HOSKEN, L. A. L. Seleção de sistema de fornecimento de energia elétrica para propriedades rurais litorâneas localizadas no norte do estado do Rio de Janeiro. **Revista Eletrônica Produção & Engenharia**, v. 4, n. 1, p. 338-345, 2013. Disponível em: <<https://periodicos.ufjf.br/index.php/producaoengenharia/article/view/28814>>. Acesso em: 22 ago. 2022.

MIELE, M.; SILVA, M. L. B.; NICOLOSO, R. S.; CORRÊA, J. C.; HIGARASHI, M. M.; KUNZ, A.; SANDI, A. J. Tratamento dos efluentes de usinas de biogás. **Revista de Política Agrícola**, Brasília, n. 1, p. 31-46, jan./mar. 2015. Disponível em: <<https://seer.sede.embrapa.br/index.php/RPA/article/view/964>>. Acesso em: 10 ago. 2022.

MILANEZ, A. Y.; GUIMARÃES, D. D.; MAIA, G. B. S.; SOUZA, J. A. P.; LEMOS, M. L. F. Biogás de resíduos agroindustriais: panorama e perspectivas. **BNDES Setorial** 47, p. 221-276, 2018. Disponível em: <<https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/15384>>. Acesso em: 16 ago. 2022.

NOGUEIRA, L. A. H.; LORA, E. E. S. **Dendroenergia: Fundamentos e Aplicações.** 2 ed. Rio de Janeiro: Ed. Interciência, 2003.

OLIVER, A. P. M. (org.) **Manual de treinamento em biodigestão.** Salvador: Winrock International Brasil. 2008. Disponível em: <https://www.academia.edu/6686420/MANUAL_DE_TREINAMENTO_EM_BIODIGEST%C3%83O>. Acesso em: 14 mar. 2022.

ORRICO, A. C. A.; LUCAS JÚNIOR, J.; ORRICO JÚNIOR, M. A. P. Caracterização e biodigestão anaeróbia dos dejetos de caprinos. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 3, p. 639-647, set./dez. 2007. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/eagri/a/4zQNhk5RgfbfK8TB3YvqV8s/?lang=pt&format=pdf>>. Acesso em 12 jul. 2022.

PALHARES, J. C. P. **Uso da cama de frango na produção do biogás**. Circular Técnica. Concórdia: EMBRAPA, 2004.

PASTORE, S. M.; OLIVEIRA, W. P.; MUNIZ, J. C. L. Panorama da Coturnicultura no Brasil. **Revista Eletrônica Nutritime**, v. 9, n. 6, p. 2041–2049, nov./dez. 2012. Disponível em: <https://www.nutritime.com.br/arquivos_internos/artigos/180%20-Panorama%20da%20coturnicultura_.pdf>. Acesso em: 03 ago. 2022.

PATTANAIK, L.; PATTNAIK, F.; SAXENA, D. K.; NAIK, S. N. Biofuels from agricultural wastes. **Second and Third Generation of Feedstocks: The Evolution of Biofuels**, p. 103-142, 2019. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128151624000057#:~:text=Agricultural%20wastes%20are%20a%20major,%2C%20biohydrogen%2C%20and%20biodiesel>>. Acesso em: 30 ago. 2022.

PINHEIRO, T. S.; GOMES, M. C.; DOURADO, A. C. C.; SILVA, J. F. Tratamento de resíduos da avicultura de postura por digestão anaeróbia: redução dos sólidos voláteis. **Rev. Augustus**, v. 29, n. 56, p. 193-201, 2022. Disponível em: <<https://revistas.unisuam.edu.br/index.php/revistaaugustus/article/view/734/541>>. Acesso em: 02 set. 2022.

QUADROS, D. G.; OLIVER, A. P. M.; REGIS, U.; VALLADARES, R.; SOUZA, P. H. F.; FERREIRA, E. J. Biodigestão anaeróbia de dejetos de caprinos e ovinos em reator contínuo de PVC flexível. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 3, p. 326-332, 2010. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/tpq3rw6zV7RLmqhkQcqNFWJ/abstract/?lang=pt>>. Acesso em: 01 set. 2022.

QUEIROZ, I. R.; COSTA, A. S. V.; ALMEIDA, I. C.; BARROS, G. F.; ALVES, W. M.; SOUZA, M. C.; FRANCO, M. L.; POMPERMAYER, R. S.; SOUZA, A. O.; FERREIRA, A. C. O biocombustível no Brasil: potencialidades da cultura do Crambe abyssinica para produção de biodiesel. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 5, p. e11510514618, 2021. Disponível em: <<https://www.semanticscholar.org/paper/O-biocombust%C3%Advel-no-Brasil%3A-potencialidades-da-do-Queiroz-Costa/b8a8af9d4305478860d509b9096ed344d8a6985c>>. Acesso em 03 jan. 2023.

RANZI, T. J. D. **Estudo de viabilidade de transformação de esterqueiras e bioesterqueiras para dejetos de suínos em biodigestores rurais visando o aproveitamento de biofertilizante e do biogás**. 2003. 51f. Trabalho de Conclusão de Curso (Ciências Biológicas), Universidade Federal de Santa Catarina.

RÊGO, D. M. G.; SILVA, L. C.; OLIVEIRA, M. N. M.; MELO, R. P. F.; CARMO, S. K. S. Planejamento fatorial e avaliação econômica do processo de produção de biodiesel a partir da gordura suína. **Research Society and Development**, v. 9, n. 9, 2020. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/343863948_Planejamento_fatorial_e_avaliacao_economica_do_processo_de_producao_de_biodiesel_a_partir_da_gordura_sui_na>. Acesso em: 27 ago. 2022.

ROCHA, L.; SOARES, T. C.; ARAÚJO, F. F. Avaliação de biodigestor para uso domiciliar na reciclagem de resíduos semi-sólidos orgânicos. **Colloquium Exactarum**, v. 1, n. especial, p. 120-130, 2009. Disponível em: <<http://journal.unoeste.br/suplementos/enepe-2009/documentos/areas/exactarum/EngSanitaria.pdf>>. Acesso em 04 jan. 2023.

RODRIGUES, R. P.; RODRIGUES, D. P.; KLEPACZ-SMOLKA, A.; MARTINS, R. C.; QUINA, M. J. Comparative analysis of methods and models for predicting biochemical methane potential of various organic substrates. **Science of The Total Environment**, v. 649, p. 1599–1608, fev. 2019. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004896971833242X>>. Acesso em: 10 jul. 2022.

ROSA, A. V. da; ORDÓÑEZ, J. C. Capítulo 13 – Biomass. In: ROSA, A. V. da; ORDÓÑEZ, J. C. **Fundamentals of Renewable Energy Processes** (Fourth edition). Academic Press, p. 577-628, 2022.

SALES FILHO, I. O. S. **Avaliação da Toxicidade e Remoção de Matéria Orgânica de Efluente de Biodigestor de Resíduos Sólidos Orgânicos Tratado em Wetlands**. 2014. 63f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental), Universidade Federal de Pernambuco. Disponível em: <<https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/10545>>. Acesso em: 22 jul. 2022.

SÁNCHEZ-HERNÁNDEZ, E. P.; WEILAND, P.; BORJA, R. The effect of biogas sparging on cow manure characteristics and its subsequent anaerobic biodegradation. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 83, p. 10-16, set. 2013. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096483051300125X>>. Acesso em: 29 ago. 2022.

SANTOS, T. M. B.; LUCAS JÚNIOR, J.; SILVA, F. M. Avaliação do desempenho de um aquecedor para aves adaptado para utilizar biogás como combustível. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal v. 27, n. 3, p. 658-664, 2007. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/eagri/a/nBNDndcBHPrpYFmL465rcPR/?lang=pt>>. Acesso em 05 mai. 2022.

SILVA, F. M.; LUCAS JÚNIOR, J.; BENINCASA, M.; OLIVEIRA, E. Desempenho de um aquecedor de água a biogás. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 3, p. 608-614, 2005. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/eagri/a/4mmvynd7dZJGGXbppc9zZZG/?lang=pt>>. Acesso em: 11 jul. 2022.

SILVA, G. A.; MORAIS JR., J. A.; ROCHA, E. R. Proposta de procedimento operacional padrão para o teste do Potencial Bioquímico do Metano aplicado a resíduos sólidos urbanos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, n. 1, p. 11–16, jan./mar. 2016. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/esa/a/vHhYzvVNpsTXZkDgk4c7Hkn/?lang=pt>>. Acesso em: 12 ago. 2022.

SILVA, T. H. L.; SANTOS, L. A.; OLIVEIRA, C. R. M.; PORTO, T. S.; JUCÁ, J. F. T.; SANTOS, A. F. D. M. S. Determination of methane generation potential and evaluation of kinetic models in poultry wastes. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, n. 32, 2021. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878818121000323#cebib0010>>. Acesso em 25 jul. 2022.

SILVA, W. T. S.; NOVAES, A. P.; KUROKI, V.; MARTELLI, L. F. A.; MAGNONI JR., L. Avaliação físico-química de efluente gerado em biodigestor anaeróbio para fins de avaliação de eficiência e aplicação como fertilizante agrícola. **Química Nova**, v. 35, n. 1, p. 35-40, 2012. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/qn/a/yKqrG7WxRkFqcbt4PmVvbxG/?lang=pt>>. Acesso em 05 ago. 2022.

SILVEIRA, O. **Biodigestor. Solução energética para o campo**. São Paulo: Secretaria de Ciência/Família Cristã, jul. 1981.

STEIL, L. Avaliação do uso de inóculos na biodigestão anaeróbia de resíduos de aves de postura, frango de corte e suínos. 2001. 109f. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia), Instituto de Química, Universidade Estadual Paulista. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/handle/11449/88047#:~:text=Os%20resultados%20mostraram%20que%20os,de%20ST%20adicionados%2C%20respectivamente%20para>>. Acesso em: 17 abr. 2022.

TELES, I. B. **Biodigestão anaeróbica de dejetos de suínos e aves associados ao uso de**

inoculantes. 2019. 59f. Dissertação (Mestrado Profissional em Sistema de Produção na Agropecuária), Unifenas. Disponível em: <<http://tede2.unifenas.br:8080/jspui/handle/jspui/259>>. Acesso em 20 dez. 2022.

TRIOLO, J. M.; SOMMER, S. V.; MOLLER, H. B.; WEISBJERG, M. R.; JIANG, X. Y. A new algorithm to characterize biodegradability of biomass during anaerobic digestion: Influence of lignin concentration on methane production potential. **Bioresource Technology**, v. 102, n. 20, p. 9395–9402, 1 out. 2011. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852411009527>>. Acesso em 05 jul. 2022.

UNIÃO BRASILEIRA DE AVICULTURA – UBA. Protocolo de Bem-Estar para Aves Poedeiras. Junho, 2008. Disponível em: <https://www.avisite.com.br/legislacao/anexos/protocolo_de_bem_estar_para_aves_poedeiras.pdf>. Acesso em: 05 mai. 2022.

WEIRICH, C. S. Análise econômica de sistemas de geração de eletricidade no modo GD: motor gerador a biogás e painéis fotovoltaicos. 2021. 117f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia na Agricultura), Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Disponível em: <<https://tede.unioeste.br/handle/tede/5360>>. Acesso em 19 set. 2022.

XAVIER, C. A. N.; LUCAS JÚNIOR, J. Parâmetros de dimensionamento para biodigestores batelada operados com dejetos de vacas leiteiras com e sem uso de inóculo. **Engenharia Agrícola**, v. 30, n. 2, p. 212–223, mar./abr. 2010. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/eagri/a/cYnDMSKWtmNQkfNZJQDR7Cy/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 28 jul. 2022.

ZHANG, R.; EL-MASHAD, H. M.; HARTMAN, K.; WANG, F.; LIU, G.; CHOATE, C.; GAMBLE, P. Characterization of food waste as feedstock for anaerobic digestion. **Bioresource Technology**, v. 98, n. 4, p. 929-935, 2007. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852406000940>>. Acesso em 22 dez. 2022.

7. LISTA DE SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

7.1 Avaliar o potencial de CH₄ no DLC com diferentes inóculos do utilizado neste estudo;

7.2 Avaliar o potencial de CH₄ com outras dosagem de inóculos.

7.3 Investigar a produção de biogás do DLC em outros modelos de biodigestores

7.4 Investigar tecnologias mais eficientes para obter maior aproveitamento energético do biogás para geração de energia elétrica.

8. ANEXOS

Anexo 1. Certificado de calibração manômetro analógico



PSV control
Válvulas e Instrumentação

LABORATÓRIO DE INSTRUMENTAÇÃO
PSV CONTROL

Página: 1 / 2 CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO N.º PSV24488/21

Cliente: ROOSEVELT DUARTE JUNIOR
Endereço: RUA TORRES BARRETO - BLUMENAU SC
Solicitante: ROOSEVELT DUARTE JUNIOR
Instrumento: P-01 MANÔMETRO ANALÓGICO **Fabricante:** FEDLER
Modelo: VERTICAL

Condições Ambientais: Temperatura Laboratório: 20,0 °C (± 1,0 °C) Umidade relativa ar: 60,0 %ar (± 10 %ar)
Local de realização da Calibração: Serviço executado no laboratório de PSV CONTROL

Procedimento Interno de Calibração: PC01 **Revisão:** 0

Equipamentos Utilizados na Calibração:

Identificação	Certificado	Orgão Calibrador	Validade
PC01 CALIBRADOR DIGITAL DE PRESSÃO	10243.05.21	PT/ME LAB	05/2022

(Padrões rastreáveis aos padrões primários nacionais e internacionais)

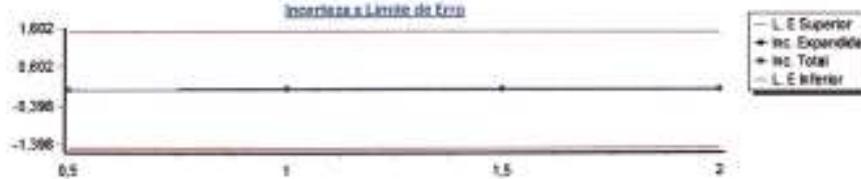
Declaração da Incerteza de Medição:
 - V.I. Valor indicado no instrumento na unidade do mesmo.
 - V.R.M. Valor de Referência Indicado na unidade de medição do padrão.

A incerteza expandida de Medição (U) relatada e declarada como a incerteza Padrão de Medição multiplicada pelo fator de abrangência (K), o qual para uma distribuição (t) com (Vdf) graus de liberdade efetiva corresponde a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95%. A incerteza padrão de medição foi determinada de acordo com a publicação EA-4/02.

Resultados da Calibração/Medição: **Legenda de Cordeiro Estado:** AP-Aprovado RE-Reprovado

AVALIAÇÃO		Indicação Nominal: 0,0 a 2,0 kgf/cm²				Resolução: 0,2 kgf/cm²		
V.I.	V.R.M.	Tolerância	Incerteza Expandida	(K)	(Vdf) Valor Efetivo	Limite de Erro (L)	ESTADO	
kgf/cm²	kgf/cm²	kgf/cm²	kgf/cm²			kgf/cm²		
0,0	0,912	0,012	0,001	2,01	∞	1,00000	AP	
1,0	1,027	0,027	0,001	2,01	∞	1,00000	AP	
1,5	1,538	0,038	0,001	2,01	∞	1,00000	AP	
2,0	2,038	0,038	0,001	2,01	∞	1,00000	AP	

Incerteza e Limite de Erro



RETOCADO		Indicação Nominal: 0,0 a 2,0 kgf/cm²				Resolução: 0,2 kgf/cm²		
V.I.	V.R.M.	Tolerância	Incerteza Expandida	(K)	(Vdf) Valor Efetivo	Limite de Erro (L)	ESTADO	
kgf/cm²	kgf/cm²	kgf/cm²	kgf/cm²			kgf/cm²		
0,0	0,912	0,012	0,118	2,01	∞	1,00000	AP	
1,0	1,026	0,026	0,118	2,01	∞	1,00000	AP	
1,5	1,537	0,037	0,118	2,01	∞	1,00000	AP	
2,0	2,038	0,038	0,118	2,01	∞	1,00000	AP	

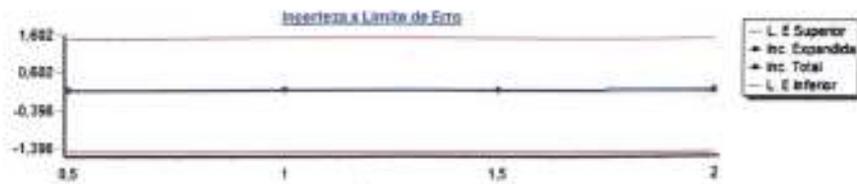


LABORATÓRIO DE INSTRUMENTAÇÃO
PSV CONTROL

Página: 2 / 2

CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO N.º

PSV24488/21



OBSERVAÇÕES

Data da Calibração: 13/09/21

Data de Emissão do Certificado: 13/09/21

Válido até: 09/22 (validade solicitada pelo cliente)

Análise do Cliente	Data
1 Aprobado	
1 Aprobado Condicional	
1 Reprovado	

Responsável

Silvo Gujbar

SILVO GUJBAR
Técnico Executor

Fernando F. Machado

FERNANDO F. MACHADO
Responsável Técnico / Signatário Autorizado

Responsável Solicitante

Anexo 2. Esldides utilizados como material didático de apresentação de defesa de mestrado



INSTITUTO FEDERAL
Catarinense



Mestrado Profissional
**TECNOLOGIA
E AMBIENTE**

POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS E DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA DE UM SISTEMA DE COTURNICULTURA COM TRATAMENTO POR LÂMINA D'ÁGUA.

Mestrando: Eng. Ambiental Roosevelt Duarte Junior
 Orientador: Prof. Dr. Überson Boaretto Rossa
 Coorientadora: Eng. Química Drª Luana Marcele Chiarello

INTRODUÇÃO

CONTEXTUALIZAÇÃO

- Em 1910, os japoneses iniciaram estudos e cruzamentos entre as codornas, provindas da Europa, e espécies selvagens, que passou a se chamar Coturnix coturnix japonica, ou codorna doméstica. A partir de então, iniciou-se a sua exploração, visando à produção de carne e ovos (REIS, 1980).
- No Brasil, foi introduzida na década de 50 (PINTO *et al.*, 2002).
- Em 2020, o Brasil tinha um plantel de 16,7 milhões de codornas, Fonte: O autor (2022)
 - ↑ Produtores: Espírito Santo, São Paulo, Minas Gerais, Santa Catarina e Ceará (IBGE, 2020).
- Os resíduos dessa atividade tem alto potencial energético e econômico para serem utilizados como fonte de biomassa na digestão anaeróbica para a geração de biogás, além de mitigar os impactos negativos e aumentar o lucro financeiro (MARCHIORO *et al.*, 2018).

2

Anexo 2. Esldades utilizados como material didático de apresentação de defesa de mestrado (cont.)

INTRODUÇÃO

➤ O contínuo crescimento da população mundial e sua demanda por alimentos fizeram uma grande pressão para o desenvolvimento do setor agropecuário, entretanto, não houve preocupação com os impactos ambientais negativos que essas atividades trazem ao meio ambiente, de forma que hoje se torna essencial a utilização de práticas sustentáveis para mitigar a emissão de gases do efeito estufa e reduzir a degradação ambiental (MIELE *et al.*, 2015).



Fonte: Granja Loureiro



Fonte: Granja Loureiro

➤ A implementação de biodigestores nos sistemas de produção animal é essencial, pois promovem o tratamento do resíduo e retornam parte da energia que seria perdida de volta ao sistema produtivo, através da queima do biogás (SILVA *et al.*, 2005; ORRICO *et al.*, 2007; SANTOS *et al.*, 2007).

3

INTRODUÇÃO

PROBLEMÁTICA

IMPACTOS AMBIENTAIS:

➤ A soma dos teores de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) do esterco das codornas, pode ser de duas a três vezes maiores que o encontrado nas dejeções de mamíferos (KIEHL, 1985).

↑ Potencial de toxicidade ao meio ambiente.



Fonte: Romel Paucar (2020)



Fonte: Órgão Energia

➤ Emissão de gases nocivos que trazem problemas de saúde às pessoas e animais e ainda contribui para o efeito estufa (LUCAS JÚNIOR; AMORIM, 2005).

➤ As fontes tradicionais de energia apresentam-se ainda com custos crescentes de produção e impactos socioambientais relevantes (MILANEZ *et al.*, 2018).

4

Anexo 2. Esldades utilizados como material didático de apresentação de defesa de mestrado (cont.)

INTRODUÇÃO



ENERGIA LIMPA = BIOCOMBUSTÍVEL

Para minimizar os impactos, pode-se utilizar esses resíduos na produção de biocombustíveis, de modo sustentável, no entanto, sua larga adoção irá depender de políticas públicas e fomentos na execução e validação de pesquisas (MAZZUCO, 2008).

Benefício de biocombustíveis: gerados por recursos naturais minimizam a quantidade dos gases de efeito estufa e, conseqüentemente, contribuem para o bom equilíbrio de carbono na atmosfera (PATTANAİK *et al.*, 2019).



Fonte: Impact Alpha

5

OBJETIVOS



OBJETIVO GERAL

➤ Investigar o potencial da produção de biogás do dejetto líquido da coturnicultura com sistema de tratamento por lâmina d'água em biodigestores anaeróbicos de batelada.



Fonte: Leme (2007)



Fonte: Cortesia Sistema Bio | LA PATRIA

6

Anexo 2. Eslaides utilizados como material didático de apresentação de defesa de mestrado (cont.)

OBJETIVOS

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar as características físicas, físico-químicas e químicas do substrato e inóculo para melhor compreensão do processo de digestão anaeróbia e da geração de biogás e metano.
- Realizar análise experimental com diferentes tempos de deposição dos dejetos e retenção hídrica nos biodigestores anaeróbicos, a fim de avaliar o efeito na produção de biogás e metano.



- Verificar o potencial para a geração de energia com o uso do biogás gerado na coturnicultura com sistema de tratamento por lâmina d'água.

Fonte: Compostchêira

7

MATERIAIS E MÉTODOS

TIPO DE PESQUISA

- Pesquisa experimental;
- Quali-quantitativa;
- Desenvolvida no Laboratório de Química do IFCC, a partir de dados obtidos através da biodegradação no biodigestor.




Fonte: O autor (2022)

Fonte: O autor (2022)

8

Anexo 2. Eslaides utilizados como material didático de apresentação de defesa de mestrado (cont.)

MATERIAIS E MÉTODOS

COLETA DA AMOSTRA DO INÓCULO

O dejetos do tanque da esterqueira da granja (inóculo) foi coletado no final de um ciclo de 45 dias de retenção no tanque das gaiolas das codornas.



Fonte: O autor (2022)



Fonte: O autor (2022)



Fonte: O autor (2022)

Em seguida, armazenado em um recipiente de polietileno com capacidade de 5 litros cada, mantido com refrigeração de 4°C, de acordo com a recomendação da NBR 10.007 (2004).

9

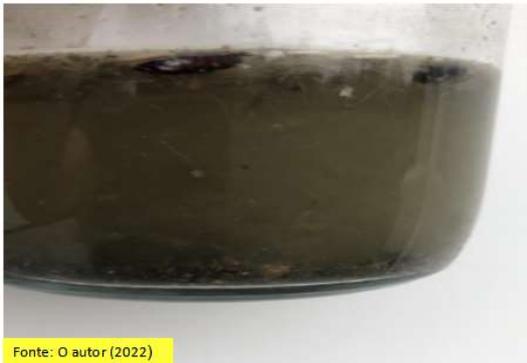
MATERIAIS E MÉTODOS

COLETA DA AMOSTRA DO SUBSTRATO

O dejetos líquido da coturnicultura com tempo deposição (substrato) foi coletado a cada 15 dias durante um ciclo de 45 dias de retenção no tanque disposto abaixo das gaiolas das codornas.



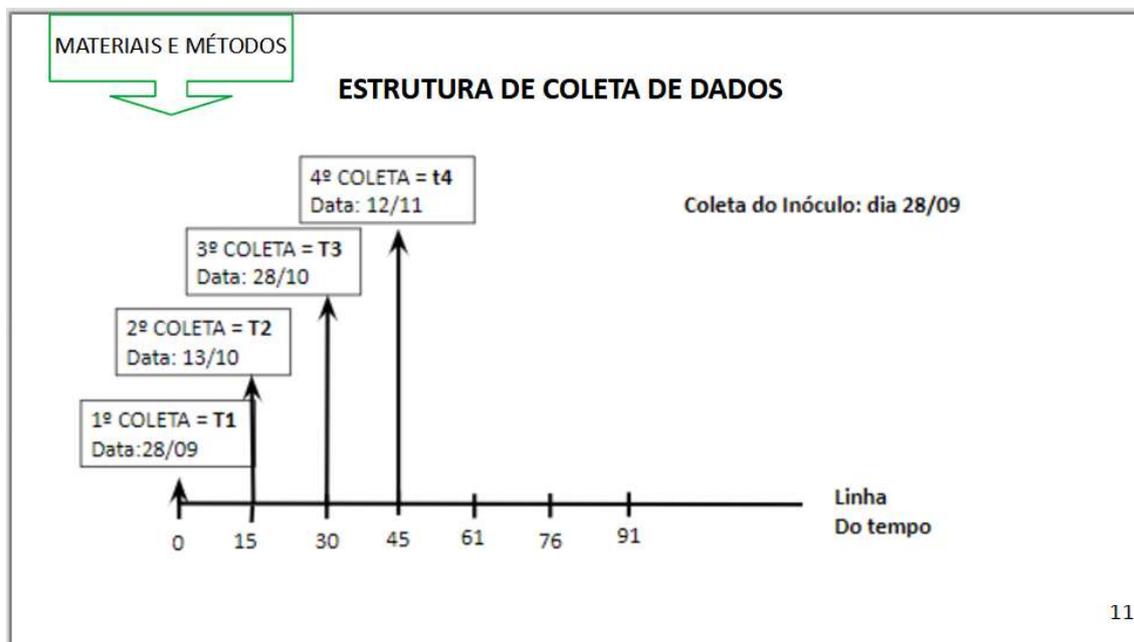
Fonte: O autor (2022)



Fonte: O autor (2022)

10

Anexo 2. Eslides utilizados como material didático de apresentação de defesa de mestrado (cont.)



MATERIAIS E MÉTODOS

CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA ESTUDADA

A caracterização físico-química do dejetos da coturnicultura com sistema de tratamento por lâmina d'água foi realizada pelo Laboratório de IBRA (Sumaré/SP) e LABB - Análises Ambientais (Blumenau/SC).

Parâmetro	Inóculo	DLC deposição de 15 dias	DLC deposição de 30 dias	DLC deposição de 45 dias
Carbono orgânico total	9.980,00 mg/L			9.980,00 mg/L
Nitrogênio total	3.615,74 mg/L (0,6 %)	0,57 %	0,64 %	3.615,74 mg/L (0,6 %)
Sólidos totais	38.920,0 mg/L			38.920,0 mg/L
Fósforo total	0,16 %	0,96 %	0,48 %	0,16 %
Potássio	0,41 %	0,18 %	0,2 %	0,41 %
Cálcio	0,03 %	0,15 %	0,39 %	0,03 %
Matéria orgânica	71,43 %	33,33 %	80 %	71,43 %
Umidade (65°C)	96,59 %	98,53 %	95,61 %	96,59 %
Densidade	1,02 g/cm ³	1,01 g/cm ³	1,02 g/cm ³	1,02 g/cm ³

12

Anexo 2. Eslides utilizados como material didático de apresentação de defesa de mestrado (cont.)

MATERIAIS E MÉTODOS

ENSAIO DO POTENCIAL BIOQUÍMICO DE METANO (BMP)

- O ensaio do BMP é o parâmetro mais relevante para estimar o potencial de produção de bioenergia acumulada na forma de metano (TRIOLO *et al.*, 2011).
- A pesquisa experimental geralmente possui a adição de inóculo na fração de rejeito. O processo ocorre em meio anaeróbico e também é realizado sob ótimas condições de degradação em termos de umidade, temperatura, disponibilidade de nutrientes e micro-organismos (FIRMO, 2013).



Fonte: O autor (2022)
13

MATERIAIS E MÉTODOS

BMP: CALIBRAÇÃO E PADRONIZAÇÃO DO MANÔMETRO

Certificado de calibração do manômetro padrão



Teste de calibração antes da montagem



Seringas de 3 vias para coleta do biogás



Fonte: O autor (2022)
Fonte: O autor (2022)
Fonte: O autor (2022)

14

Anexo 2. Esldais utilizados como material didático de apresentação de defesa de mestrado (cont.)

MATERIAIS E MÉTODOS

BMP: MONTAGEM E TESTE DE ESTANQUEIDADE

Modelo de reator utilizado por Firmo (2013) adaptado.

- Frascos de borossilicato de 250mL;
- Tampas rosqueadas de plástico contendo duas válvulas para coleta/alívio de gás;
- Conexões de cobre;
- Acoplamento ao manômetro; manômetros de 1kgf/cm² com escala de 0,1kgf/cm²;
- Anéis de borracha na tampa para garantir uma melhor vedação.



Reator montado

Fonte: O autor (2022)



Teste de estanqueidade

Fonte: O autor (2022)



Fonte: o autor (2022)

15

MATERIAIS E MÉTODOS

ENSAIO DO POTENCIAL BIOQUÍMICO DE METANO (BMP)

Definidos os volumes de trabalho, inóculo e substratos

Configurações (substrato + lodo)	Substrato (mL)	Inóculo (mL)	Headspace (mL)
T1	150	30	70
T2	150 Mat. Inerte	30	70
T3	150	30	70
T4	150	30	70

Legenda:

- T1 = dejetos do tanque da esterqueira da granja;
- T2 = dejetos líquidos da coturnicultura com deposição de 15 dias + inóculo;
- T3 = dejetos líquidos da coturnicultura com deposição de 30 dias + inóculo;
- T4 = dejetos líquidos da coturnicultura com deposição de 45 dias + inóculo.

Relação Substrato/Inóculo = 5:1



16

Anexo 2. Eslades utilizados como material didático de apresentação de defesa de mestrado (cont.)

MATERIAIS E MÉTODOS

ESTRUTURA DA COLETA DE DADOS

- O método adotado foi baseado na metodologia descrita por Hansen *et al.* (2004).
- Os ensaios foram realizados em 3 repetições e compostos pelas seguintes etapas:



Fonte: O autor (2022)

Preenchimento



Fonte: O autor (2022)

Pesagem Inicial



Fonte: O autor (2022)

Medição Inicial de pH



Fonte: O autor (2022)

Conductividade Elétrica da Mistura

17

MATERIAIS E MÉTODOS

ESTRUTURA DA COLETA DE DADOS



Fonte: O autor (2022)

Identificação e envolvimento com papel alumínio



Fonte: O autor (2022)

Incubação dos biorreatores na estufa (37°C)



Fonte: O autor (2022)

Monitoramento diário da pressão



Fonte: O autor (2022)

Coleta e análise do biogás

18

Anexo 2. Eslaides utilizados como material didático de apresentação de defesa de mestrado (cont.)

MATERIAIS E MÉTODOS

ESTRUTURA DA COLETA DE DADOS

Realização de análises de cromatografia gasosa do biogás

Seringa de 3 vias de 10 ml para a coleta do biogás

Laboratório de Cromatografia – Campus II (FURB)



Fonte: O autor (2022)

Fonte: Luana Marcelle Chiarello (2022)

19

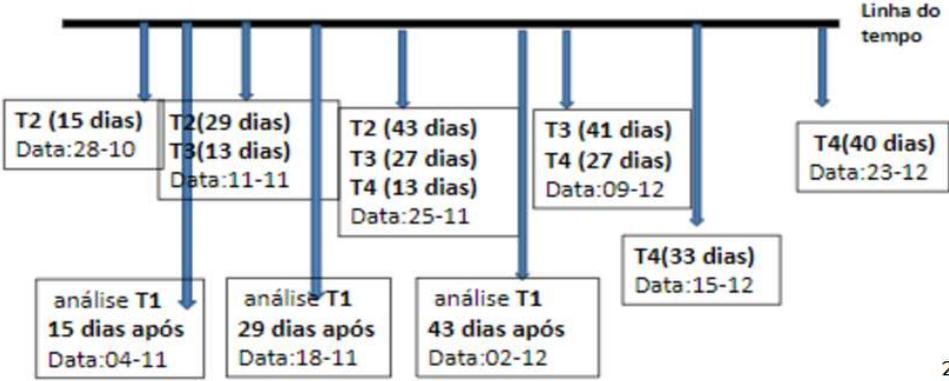
MATERIAIS E MÉTODOS

ESTRUTURA DA COLETA DE DADOS

Cronograma de análises realizadas

Coleta do biogás

Linha do tempo



Evento	Tempo (dias)	Data
T2	15 dias	28-10
T2	29 dias	11-11
T2	43 dias	25-11
T3	13 dias	11-11
T3	27 dias	25-11
T3	41 dias	09-12
T4	13 dias	25-11
T4	27 dias	09-12
T4	33 dias	15-12
T4	40 dias	23-12

análise T1 15 dias após Data:04-11

análise T1 29 dias após Data:18-11

análise T1 43 dias após Data:02-12

20

Anexo 2. Esldades utilizados como material didático de apresentação de defesa de mestrado (cont.)

MATERIAIS E MÉTODOS



ANÁLISE DE DADOS

- Análise de variância das médias, utilizando teste Scott-Knott e Tukey ao nível de 5% de probabilidade;
- Delineamento inteiramente casualizado;
- Com 4 tratamentos;
- 3 repetições por tratamento;
- Para verificar o potencial de geração de energia elétrica com o uso do biogás, utilizou-se a metodologia do Centro para Convenção de Energia (CCE, 2000) adaptada por Marques (2012), ao adaptar o motogerador de origem a diesel para o uso do biogás como combustível.

21

RESULTADOS



CAPÍTULOS GERADOS

Capítulo 1

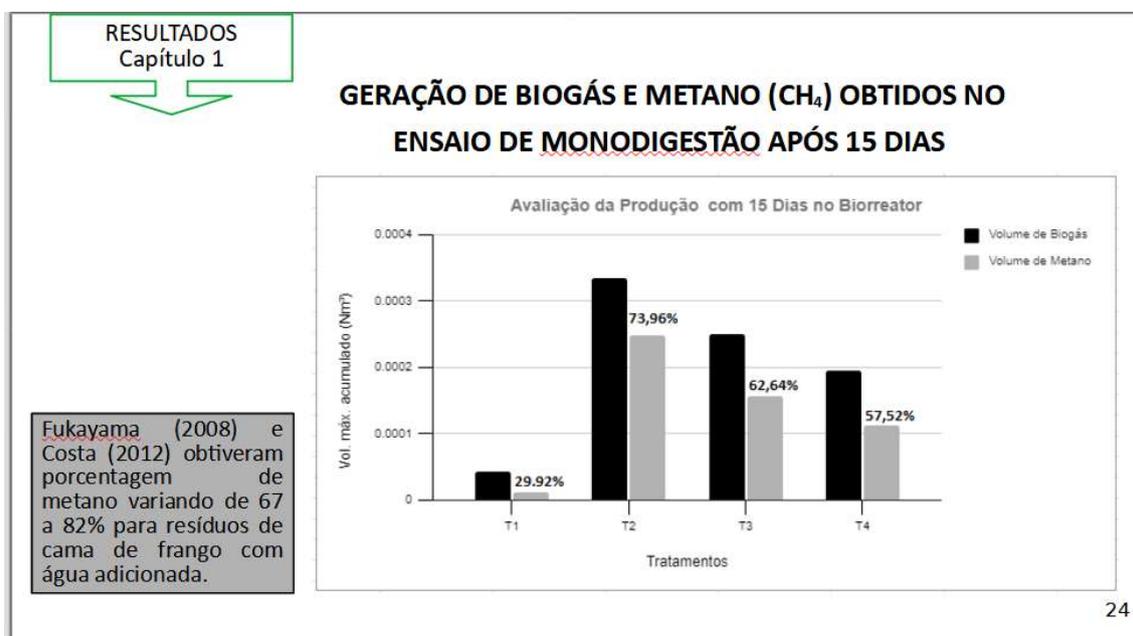
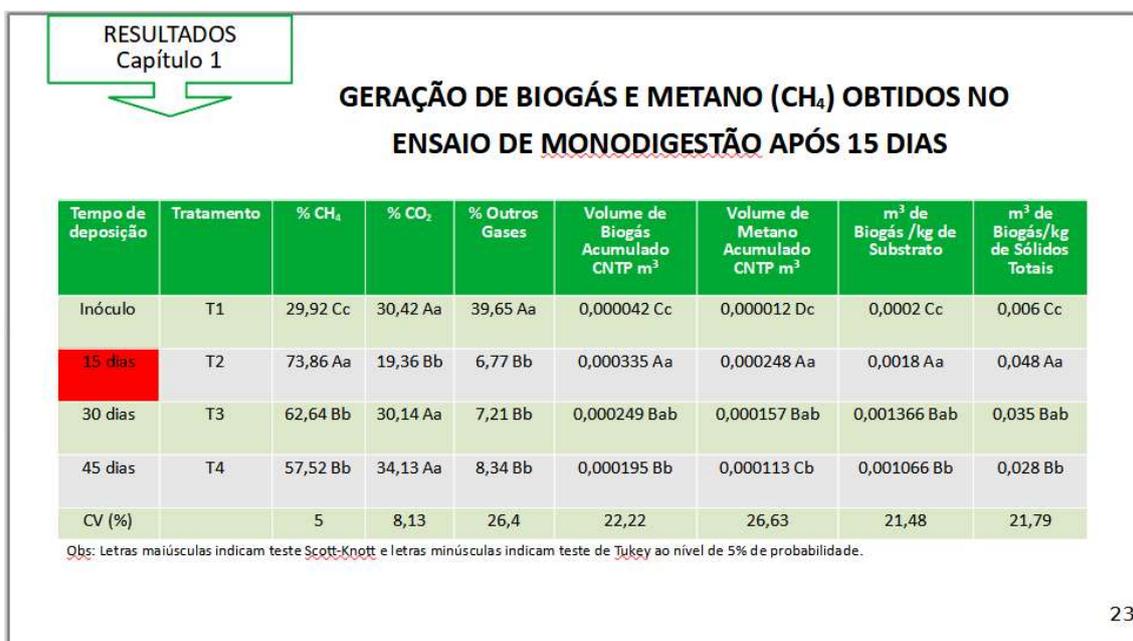
BIODIGESTÃO DO DEJETO DA COTURNICULTURA COM SISTEMA DE TRATAMENTO POR LÂMINA D'ÁGUA E POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS
Proposta de submissão: Revista Engenharia Sanitária e Ambiental (ESA)

Capítulo 2

POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA COM O USO DO BIOGÁS PRODUZIDO ATRAVÉS DA BIOMASSA GERADA EM UMA COTURNICULTURA COM SISTEMA DE TRATAMENTO POR LÂMINA D'ÁGUA NA ZONA RURAL DE MASSARANDUBA/SC
Proposta de submissão: Revista Engenharia Sanitária e Ambiental (ESA)

22

Anexo 2. Eslides utilizados como material didático de apresentação de defesa de mestrado (cont.)



Anexo 2. Eslades utilizados como material didático de apresentação de defesa de mestrado (cont.)

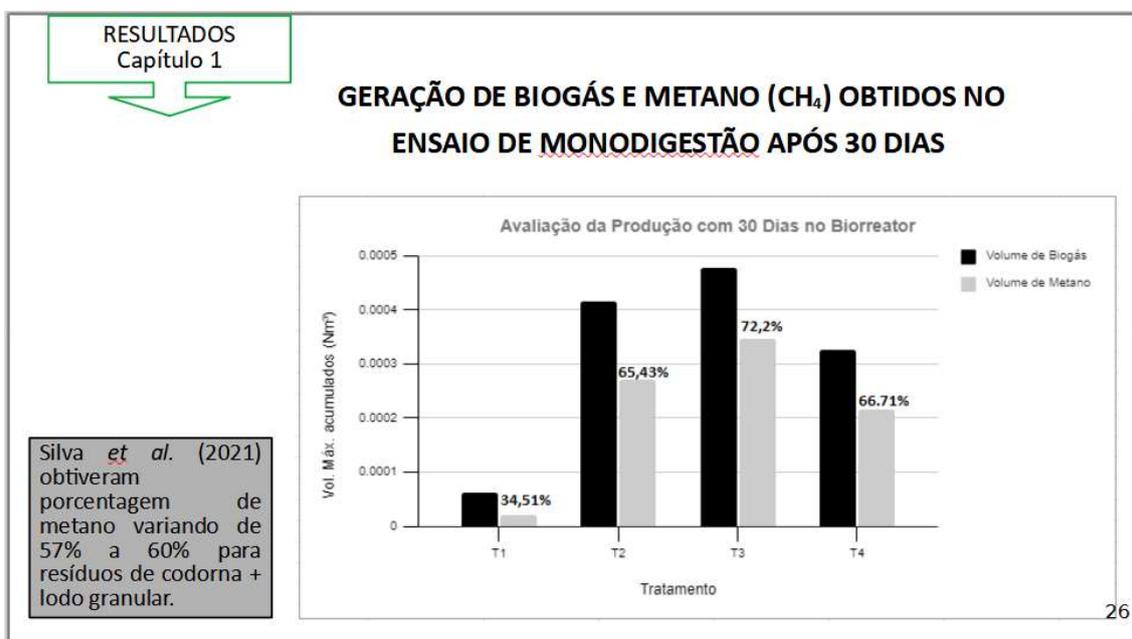
RESULTADOS
Capítulo 1

GERAÇÃO DE BIOGÁS E METANO (CH₄) OBTIDOS NO
ENSAIO DE MONODIGESTÃO APÓS 30 DIAS

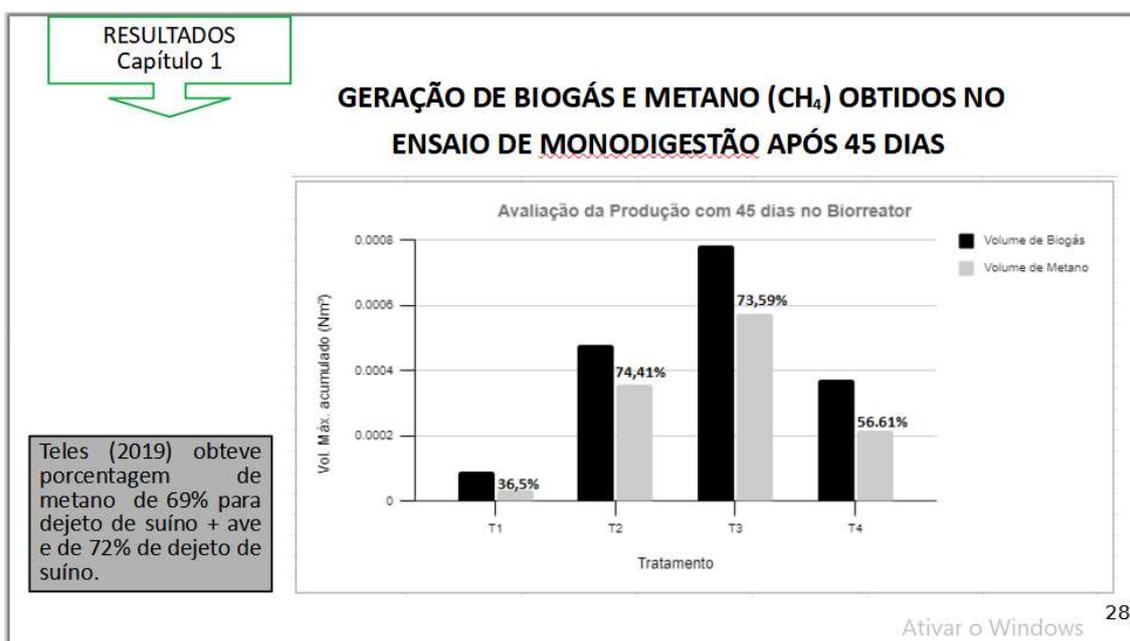
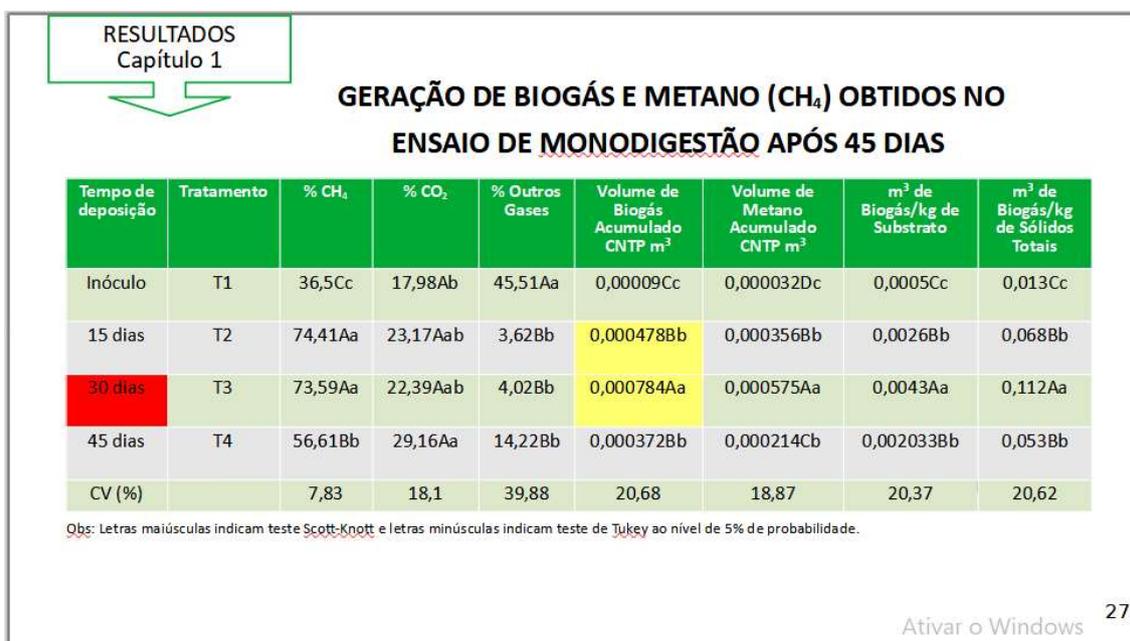
Tempo de deposição	Tratamento	% CH ₄	% CO ₂	% Outros Gases	Volume de Biogás Acumulado CNTP m ³	Volume de Metano Acumulado CNTP m ³	m ³ de Biogás/kg de Substrato	m ³ de Biogás/kg de Sólidos Totais
Inóculo	T1	34,51Bb	21,5Bb	43,98Aa	0,000061Cc	0,000021Cc	0,0003C	0,008Cc
15 dias	T2	65,43Aa	19,8Bb	14,76Bb	0,000416Aab	0,000272Bab	0,0023Aab	0,059Aab
30 dias	T3	72,2Aa	24,89Aab	2,9Bb	0,000478Aa	0,000346Aa	0,0026Aa	0,0680Aa
45 dias	T4	66,71Aa	27,77Aa	5,88Bb	0,000325Bb	0,000216Bb	0,0018Bb	0,046Bb
CV (%)		8,88	8,39	32,48	11,87	17,31	11,43	11,94

Obs: Letras maiúsculas indicam teste Scott-Knott e letras minúsculas indicam teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

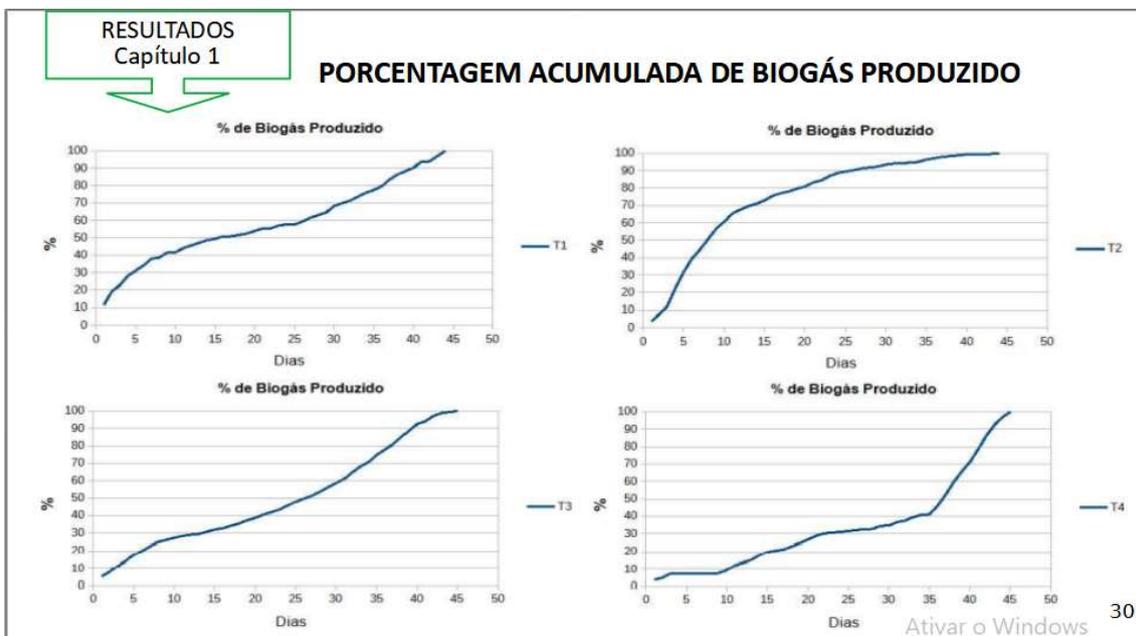
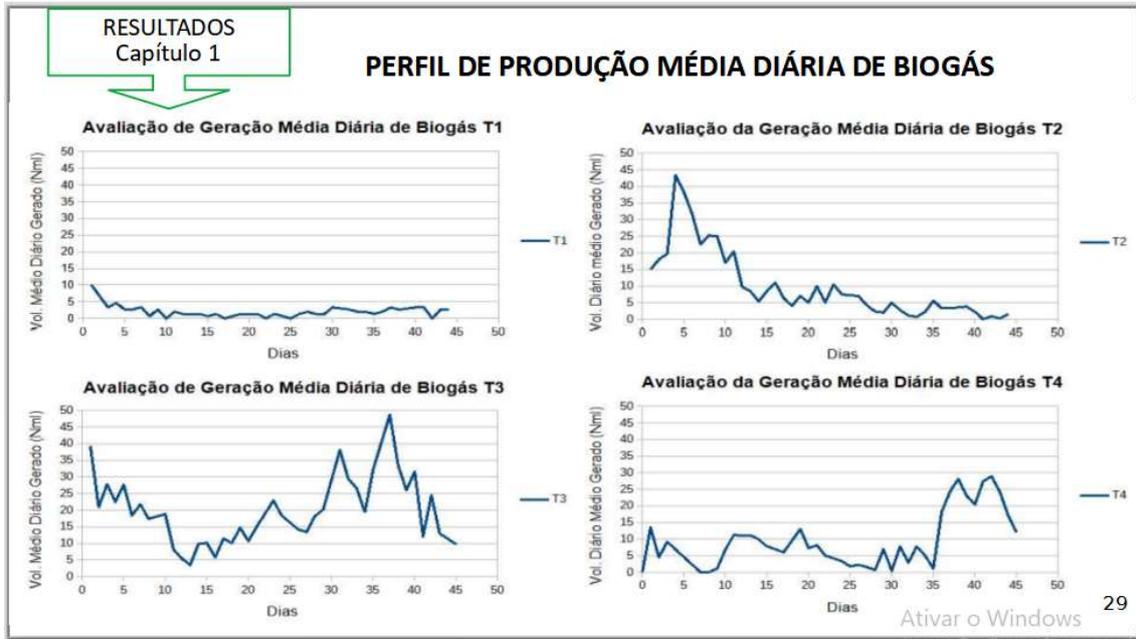
25



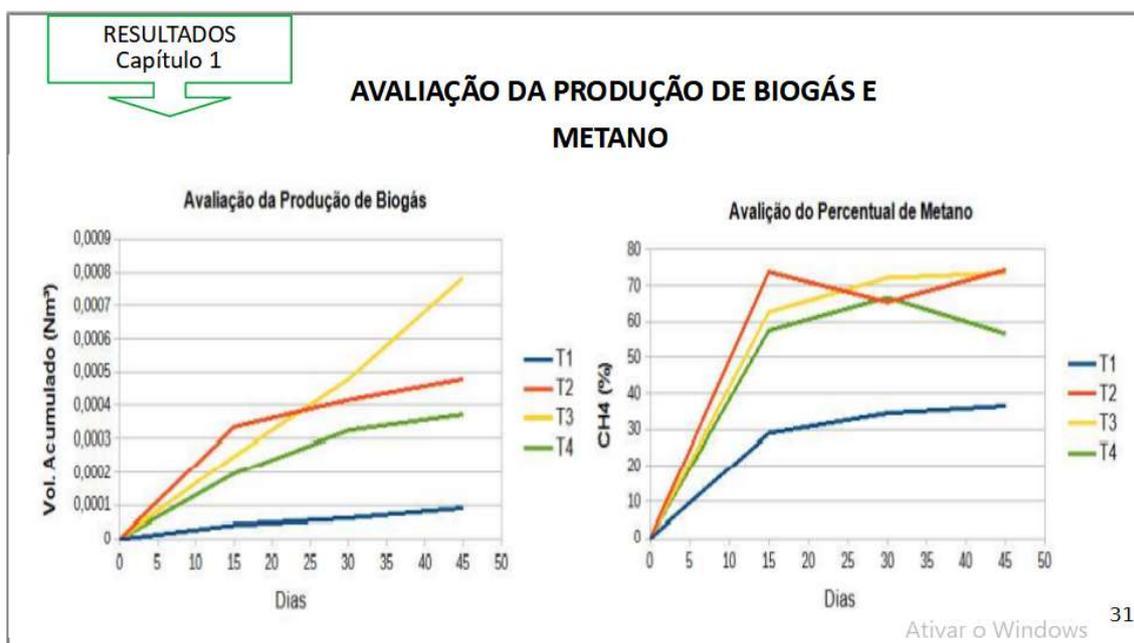
Anexo 2. Eslides utilizados como material didático de apresentação de defesa de mestrado (cont.)



Anexo 2. Eslides utilizados como material didático de apresentação de defesa de mestrado (cont.)



Anexo 2. Eslades utilizados como material didático de apresentação de defesa de mestrado (cont.)



RESULTADOS Capítulo 1

MÉDIAS DOS VALORES INICIAIS E FINAIS DE pH E CONDUTIVIDADE ELÉTRICA

Configurações	pH inicial	pH final	Condutividade INICIAL (µs/cm)	Condutividade FINAL (µs/cm)
T1	7,4	8,17	26,45	30,65
T2	7,17	7,85	18,87	23,23
T3	7,75	7,95	25,93	30,51
T4	7,57	8,15	27,05	34,2

*Faixa ideal para o desenvolvimento microbiano.
*Reforçam a capacidade do biodigestor desenvolver um efeito tampão.

Ativar o Windows 32

Anexo 2. Eslaides utilizados como material didático de apresentação de defesa de mestrado (cont.)

RESULTADOS
Capítulo 1

CONCLUSÃO

Conclui-se que, por meio da biodigestão anaeróbica dos dejetos líquidos de codornas, é possível produzir biogás de boa qualidade e que o dejetos líquido da coturnicultura (DLC) com sistema de tratamento por lâmina d'água tem potencial de produção de biogás em biorreatores anaeróbicos de batelada.

Ativar o Windows 33

RESULTADOS
Capítulo 2

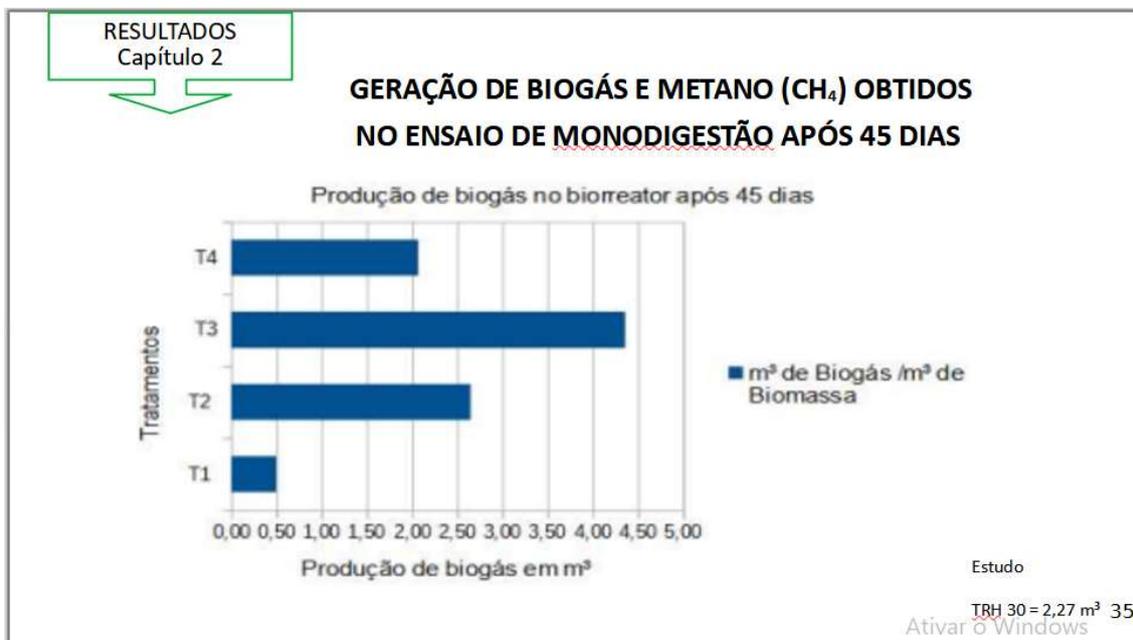
GERAÇÃO DE BIOGÁS E METANO (CH₄) OBTIDOS NO ENSAIO DE MONODIGESTÃO APÓS 45 DIAS

Tempo de deposição	Tratamento	% CH ₄	% CO ₂	Volume de Biogás Acumulado CNTP m ³	Volume de Metano Acumulado CNTP m ³	m ³ de Biogás /m ³ de Biomassa
Inóculo	T1	36,5Cc	17,98Ab	0,00009Cc	0,000032Dc	0,5Cc
15 dias	T2	74,41Aa	23,17Aab	0,000478Bb	0,000356Bb	2,65Bb
30 dias	T3	73,59Aa	22,39Aab	0,000784Aa	0,000575Aa	4,36Aa
45 dias	T4	56,61Bb	29,16Aa	0,000372Bb	0,000214Cb	2,07Bb
CV (%)		7,83	18,1	20,68	18,87	20,63

Obs: Letras maiúsculas indicam teste Scott-Knott e letras minúsculas indicam teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Ativar o Windows 34

Anexo 2. Esldades utilizados como material didático de apresentação de defesa de mestrado (cont.)



RESULTADOS
Capítulo 2

AValiação de GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DO BIOGÁS

- A quantidade de m³ produzidos de biomassa atualmente de 96 m³ a cada 45 dias.
- Potencial de produção: 4,36 m³ de biogás por m³ de biomassa, totalizando 418,56 m³ de biogás produzidos a cada 45 dias.

Fonte: O autor (2022)
Ativar o Windows

Anexo 2. Esldades utilizados como material didático de apresentação de defesa de mestrado (cont.)

RESULTADOS
Capítulo 2

AVALIAÇÃO DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DO BIOGÁS

- Com este volume de 418,56 m³ de biogás produzido sendo convertido em energia elétrica através do uso de um motogerador utilizando como combustível o biogás, se chegaria a um valor de 9,30 kWh/dia ou 104,64 kWh/45 dias.
- Analisando uma fatura de energia elétrica: o consumo médio de 23,20 kWh/dia e consumo médio faturado por mês de 571kwh/30 dias.
- A produção de 104,64 kWh/45 dias significa um aporte do conjunto de 12,3% a cada 45 dias.



Fonte: CPH Brasil

CONSIDERAÇÕES FINAIS

CONSIDERAÇÕES FINAIS

- DLC demonstraram ser bons substratos para o processo de DA.
- Possui potencial energético para a utilização como fonte alternativa de energia.
- Os inóculos utilizados demonstraram boa adaptação aos substratos e ao processo como um todo.

38

Anexo 2. Eslaides utilizados como material didático de apresentação de defesa de mestrado (cont.)

CONSIDERAÇÕES FINAIS



CONSIDERAÇÕES FINAIS



Fonte: Kurt Bouda, Pixabay

Potencial de Fertilizante

O dejetos de codornas podem ser considerados excelentes matérias-primas para transformação em adubo orgânico em função da sua elevada concentração de **NITROGÊNIO, POTÁSSIO E MACRONUTRIENTES**, muito utilizados para a fertilização das culturas em geral (SOUSA *et al.*, 2012).

39

REFERÊNCIAS



- FIRMO, A. L. B. **Estudo numérico e experimental da geração de biogás a partir da biodegradação de resíduos sólidos urbanos**. 2013. 286 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife. KIEHL, E. J **Fertilizantes Orgânicos**. São Paulo: Editora Agronômica "Ceres" Ltda., 1985. (p. 229-269)
- HANSEN T. L. et al. Method for determination of methane potentials of solid organic waste. **Waste Management**, v. 24, p. 393-400, 2004.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Disponível em <[http://www. ibge. gov.br](http://www.ibge.gov.br)>. 2020. Acesso em: 04/03/2021.
- LUCAS JÚNIOR, J.; AMORIM, A. C. **Manejo de dejetos: fundamentos para a integração e agregação de valor**. Anais do ZOOTEC'2005 - 24 a 27 de maio de 2005 – Campo Grande/MS.
- LUCAS JR. J., SANTOS T. M. B. **Aproveitamento de resíduos da indústria avícola para produção de biogás**. In: Simpósio sobre Resíduos da Produção Avícola, Concórdia/SC, 2000.
- MAZZUCO, H. Ações sustentáveis na produção de ovos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, suplemento especial, p. 230-238, 2008. Disponível em: Ações sustentáveis na produção de ovos (scielo.br). Acesso em: 11 mai. 2021.
- PATTANAIK, L. et al. **Biofuels from agricultural wastes**. *Second and Third Generation of Feedstocks*, p. 103–142, 2019.
- REIS, L.F.S.D. **Codornizes, criação e exploração**. Lisboa: Agros, 10, 1980. 222 p.
- PINTO, R.; FERREIRA, A. S.; ALBINO, L. F. T.; GOMES, P. C.; VARGAS JUNIOR, J. G. **de Níveis de Proteína e Energia para Codornas Japonesas em Postura**. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 31, n. 4, p. 1761-1770, 2002.

40

Anexo 2. Eslaides utilizados como material didático de apresentação de defesa de mestrado (cont.)



INSTITUTO FEDERAL
Catarinense



Mestrado Profissional
**TECNOLOGIA
E AMBIENTE**



OBRIGADO!

Eng. Ambiental
Roosevelt Duarte Junior

41