

Henrique Clayton Rodrigues

**CODIGESTÃO ANAERÓBIA DE DEJETOS DE OVINOS COM INCLUSÕES DE
DIFERENTES PROPORÇÕES DE DEJETOS DE BOVINOS EM BIODIGESTORES
DE BANCADA OPERANDO EM BATELADA**

BambuÍ-MG

2021

HENRIQUE CLAYTON RODRIGUES

**CODIGESTÃO ANAERÓBIA DE DEJETOS DE OVINOS COM INCLUSÕES DE
DIFERENTES PROPORÇÕES DE DEJETOS DE BOVINOS EM BIODIGESTORES
DE BANCADA OPERANDO EM BATELADA**

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental do IFMG – *Campus* Bambuí, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Neimar de Freitas Duarte
Coorientador: Prof. Dr. Hygor Aristides Victor Rossoni

Linha de pesquisa: Tecnologias Ambientais

Bambuí-MG

2021



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS
Campus Bambuí
Diretoria Geral
Diretoria de Inovação, Pesquisa e Pós-graduação
Coordenadoria de Pós-Graduação
Av. Professor Mário Werneck, 2590 - Bairro Buritis - CEP 30575-180 - Belo Horizonte - MG
37 3431 4900 - www.ifmg.edu.br

PARECER Nº 4

FICHA DE APROVAÇÃO

Dissertação de Mestrado, intitulada “**CODIGESTÃO ANAERÓBIA DE DEJETOS DE OVINOS COM INCLUSÕES DE DIFERENTES PROPORÇÕES DE DEJETOS DE BOVINOS EM BIODIGESTORES DE BANCADA OPERANDO EM BATELADA**”, de autoria do mestrando em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental, **Henrique Clayton Rodrigues**, aprovado pela Banca Examinadora de Defesa, em 26/07/2021, com a média de **72,0 pontos**.

O título da dissertação apresentada não teve mudança por parte da banca. A análise das correções finais da dissertação sugeridas pela Banca Examinadora será feita pelos professores orientador e coorientador.

Bambuí (MG), 26 de julho de 2021.



Documento assinado eletronicamente por **Hygor Aristides Victor Rossoni, Usuário Externo**, em 26/07/2021, às 22:11, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **PATRICIA MARIANA ALVES CAETANO, Usuário Externo**, em 27/07/2021, às 09:39, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Neimar de Freitas Duarte, Docente do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico - EBTT**, em 27/07/2021, às 10:00, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Grazielle Wolff de Almeida Carvalho, Professora**, em 29/07/2021, às 08:23, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site <https://sei.ifmg.edu.br/consultadocs> informando o código verificador **0907505** e o código CRC **2E35F459**.

Catálogo na Fonte Biblioteca IFMG - Campus Bambuí

R696c Rodrigues, Henrique Clayton.

Codigestão anaeróbia de dejetos de ovinos com inclusões de diferentes proporções de dejetos de bovinos em biodigestores de bancada operando em batelada. / Henrique Clayton Rodrigues. – Bambuí, 2021.

102 f.: il.; color.

Orientador: Prof. Dr. Neimar de Freitas Duarte.

Dissertação (Mestrado) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Bambuí, MG, Curso Mestrado Profissional em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental, 2021.

1. Biogás. 2. Digestão anaeróbia. 3. Manejo de dejetos. I. Duarte, Neimar de Freitas. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Bambuí, MG. III. Título.

CDD 691.2

Elaborada por Douglas Bernardes de Castro- CRB-6/2802

À minha família, base sólida e inabalável,
aos meus queridos amigos e aos
sábios e prestativos mestres.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por mais essa etapa de minha vida concluída, e a minha família, pelo total e irrestrito apoio;

Ao Orientador Prof. Dr. Neimar de Freitas Duarte e ao Coorientador Prof. Dr. Hygor Aristides Victor Rossoni, pela imensa boa vontade, dedicação e sempre prontidão em sanar dúvidas, cujos conhecimentos transmitidos serão levados pelo resto da vida, os quais não se limitaram apenas à lições teóricas;

À Banca examinadora composta pelos Professores Dr. Neimar de Freitas Duarte, Dr. Hygor Aristides Victor Rossoni, Dra. Patrícia Mariana Alves Caetano e Dra. Grazielle Wolff de Almeida Carvalho, pelos conselhos e correções propostas e pela boa vontade;

A todos os Professores e Funcionários do Curso de Mestrado Profissional em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental, do IFMG, *Campus* Bambuí, em especial ao secretário do Mestrado Profissional, Ronaldo dos Reis Barbosa, cujos ensinamentos e conhecimentos transmitidos ultrapassaram as fronteiras das salas de aulas.

“A única coisa permanente é a mudança”.

Heráclito (500 a. C.)

*“Educação não transforma o mundo,
educação muda pessoas,
pessoas transformam o mundo.”*

Paulo Freire (2.000 d. C)

BIOGRAFIA

Discente: Henrique Clayton Rodrigues

Filiação: Darcy Rodrigues e Maria de Lourdes Rodrigues

Naturalidade: Pitangui **Estado:** MG **Data de nascimento:** 16/07/1979

Informações escolares:

- Ensino Médio: Curso Técnico em Agropecuário, Instituto Técnico em Agropecuário e Cooperativismo da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), Pitangui-MG, 1997;
- Curso Superior: Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras-MG, 2004;
- Curso de Especialização: Especialização em Máquinas Agrícolas: projetos, aplicações e regulagens, UFLA, 2010;
- Curso de Aperfeiçoamento: Geotecnologia no Ensino, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos-SP, 2012;

Experiência profissional:

- Bolsista do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica PIBIC/CNPq, de 2001 a 2002, desenvolvendo o projeto de pesquisa intitulado “Avaliação de Métodos de Remoção de Dióxido de Carbono e Gás Sulfídrico do Biogás”, Lavras-MG.
- Extensionista Agropecuário da Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural de Minas Gerais (EMATER-MG), de 2005 a 2007, Piedade dos Gerais-MG;
- Professor de Mecânica e Mecanização Agrícola, Construções Rurais, Topografia, Hidráulica, Irrigação e Drenagem, de 2010 a 2012, da Faculdade Presidente Antônio Carlos de Bom Despacho (UNIPAC Bom Despacho), Bom Despacho-MG;
- Professor de Máquinas e Mecanização Agrícola, Construções Rurais, Hidráulica e Irrigação e Drenagem, de 2012 a 2014, da Fundação Educacional de Divinópolis (FUNEDI), Divinópolis-MG;
- Atualmente é Professor de Mecanização Agrícola, Construções Rurais, Topografia e Desenho Técnico, desde 2007, do Instituto Técnico em Agropecuário e Cooperativismo da EPAMIG, Pitangui-MG.

RESUMO

Para o desenvolvimento sustentável da ovinocultura e bovinocultura é imprescindível a busca por novos métodos de gerenciamento e tratamento dos resíduos gerados, visando máxima redução dos impactos ambientais e otimização dos insumos usados na atividade, através de seu reuso ou reciclagem. Os biodigestores proporcionam a reciclagem e o tratamento de resíduos de atividades pecuárias, através do processo da digestão anaeróbia, gerando digestato (fertilizante) e energia alternativa (biogás). O presente trabalho avaliou o processo de codigestão anaeróbia de dejetos de ovinos com inclusões de cinco proporções de dejetos de bovinos, em biodigestores de bancada, operando em batelada com tempo de retenção hidráulico de 154 dias e concentração de sólidos totais de 9%. Os dejetos de ovinos e bovinos foram provenientes de rebanho de raças mestiças, alimentados a pasto, com suplementação de concentrado e minerais. As avaliações envolveram cinco proporções de mistura, 100:0, 75:25, 50:50, 25:75: 0:100, dejetos de bovinos e ovinos, respectivamente. As proporções de misturas que continham 50% ou mais de dejetos de bovinos apresentaram as maiores conversões de matéria carbonácea em biogás. As misturas contendo as proporções de 50:50 e 0:100, dejetos de ovino e bovino, respectivamente, apresentaram produções totais médias de 0,0229 m³ e 0,0232 m³ de biogás, potências de produção de 0,1156 m³ e 0,1204 m³ de biogás/kg de sólidos totais adicionados, 0,1440 m³ e 0,1465 m³ de biogás/kg de sólidos voláteis adicionados e 0,7253 m³ e 0,6958 m³ de biogás/kg de demanda bioquímica de oxigênio adicionada. A caracterização físico-química dos dejetos de ovinos e bovinos, raças mestiças, alimentados a pasto, com suplementação de concentrado e minerais apresentou a seguinte composição: sólidos totais de 21,8 e 16,5%, sólidos voláteis de 13,1 e 13,1 %, condutividade elétrica a 25 °C de 4.310,00 e 2.060,00 µS/cm, potencial hidrogeniônico de 7,9 e 7,2, nitrogênio total de 1.758,00 e 1.203,08 mgN/kg, fósforo total de 1.712,61 e 451,68 mgP/kg e potássio de 22.298,1 e 7.363,7 mg/kg, dejetos de ovino e bovino, respectivamente. Essas características físico-químicas evidenciam a aptidão desses dejetos para o seu tratamento através do processo de biodigestão anaeróbia.

Palavras-Chave: Biogás. Digestão anaeróbia. Manejo de dejetos.

ABSTRACT

For the sustainable development of sheep and cattle raising, it is essential to search for new methods of management and treatment of the waste generated, aiming at maximum reduction of environmental impacts and optimization of the inputs used in the activity, through their reuse or recycling. Biodigesters provide the recycling and treatment of waste from livestock activities, through the process of anaerobic digestion, generating digestate (fertilizer) and alternative energy (biogas). The present work evaluated the process of anaerobic co-digestion of sheep manure with inclusions of five proportions of cattle manure, in bench biogigestors, operating in batch with hydraulic retention time of 154 days and total solids concentration of 9%. Sheep and cattle waste came from a herd of crossbred breeds, fed on pasture, with supplementation of concentrate and minerals. The evaluations involved five mixing ratios, 100:0, 75:25, 50:50, 25:75: 0:100, cattle and sheep manure, respectively. The proportions of mixtures containing 50% or more of cattle manure showed the highest conversions of carbonaceous matter to biogas. The mixtures containing the proportions of 50:50 and 0:100, sheep and cattle manure, respectively, had average total productions of 0.0229 m³ and 0.0232 m³ of biogas, production potentials of 0.1156 m³ and 0.1204 m³ biogas/kg total solids added, 0.1440 m³ and 0.1465 m³ biogas/kg volatile solids added and 0.7253 m³ and 0.6958 m³ biogas/kg biochemical oxygen demand added. The physicochemical characterization of sheep and cattle waste, crossbred breeds, fed on pasture, with concentrate and mineral supplementation presented the following composition: total solids of 21.8 and 16.5%, volatile solids of 13.1 and 13.1%, electrical conductivity at 25 °C of 4,310.00 and 2,060.00 µS/cm, hydrogen potential of 7.9 and 7.2, total nitrogen of 1,758.00 and 1,203.08 mgN/kg, total phosphorus of 1,712.61 and 451.68 mgP/kg and potassium of 22,298.1 and 7,363.7 mg/kg, sheep and cattle manure, respectively. These physicochemical characteristics show the suitability of these wastes for its treatment through the anaerobic biodigestion process.

Keywords: Biogas. Anaerobic digestion. Waste management.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Esquema das principais etapas do processo da biodigestão anaeróbia	24
Figura 2: Modelo de biodigestor indiano	40
Figura 3: Modelo de biodigestor chinês	41
Figura 4: Modelo de biodigestor batelada	43
Figura 5: Modelo de biodigestor tubular	44
Figura 6: Esquema de funcionamento do UASB.....	46
Figura 7: Rebanho ovino do CEPI.....	48
Figura 8: Rebanho bovino do CEPI.....	48
Figura 9: Biodigestores e manômetro de coluna d'água	51
Figura 10: Câmara de digestão.	51
Figura 11: Gasômetro e manômetro de coluna d'água	51
Figura 12: Câmara de contenção d'água	51
Figura 13: Régua fixada ao gasômetro.	53
Figura 14: Termômetro em "U" com líquido manométrico.	53
Figura 15: Termômetro de mínima e máxima	54
Figura 16: Termômetro de mercúrio fixado ao gasômetro.....	54
Figura 17: Produção média acumulada de biogás e desvio padrão da produção média acumulada de biogás nos cinco tratamentos.....	63
Figura 18: Produção média semanal de biogás e desvio padrão da produção média semanal, em que: (a) T1; (b) T2; (c) T3; (d) T4; (e)T5.	66
Figura 19: Teste de queima do biogás.	72
Figura 20: Teste de queima do biogás.	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Faixa de temperaturas associadas ao crescimento microbiano.....	28
Tabela 2: Composição do rebanho de ovinos.....	47
Tabela 3: Composição do rebanho de bovinos.....	48
Tabela 4: Quantidades de dejetos de ovinos, dejetos de bovinos, água e ST adicionados em cada tratamento nos biodigestores.....	50
Tabela 5: Proporções de dejetos de ovinos e bovinos utilizados nos tratamentos.	52
Tabela 6: Características físico-químicas do dejetos de bovinos.....	56
Tabela 7: Características físico-químicas do dejetos de ovinos.....	57
Tabela 8: Eficiência de redução de ST, SV e DBO nos 5 tratamentos.....	58
Tabela 9: Concentrações médias de ST, SV e DBO afluente e reduções e porcentagem de reduções de ST, SV e DBO nos 5 tratamentos	60
Tabela 10: Condutividade elétrica, pH, concentração de N e P afluente e efluente nos tratamentos	62
Tabela 11: Produção média total de biogás, produção de biogás em relação aos substratos adicionados e em relação aos ST, SV e DBO adicionados e reduzidos nos tratamentos.	69
Tabela 12: Concentrações médias de metano e dióxido de carbono, temperatura e teor de umidade médio do biogás nos 5 tratamentos.....	71

LISTA DE ABREVIATURAS

CH₄: Metano

CO₂: Dióxido de carbono

COT: Carbono orgânico total

CR: Coeficiente de resíduo

CT: Coliformes totais

CTt: Coliformes termotolerantes

DBO: Demanda bioquímica de oxigênio

DQO: Demanda química de oxigênio

g: Grama

FDA: Fibra em detergente ácido

FDN: Fibra em detergente neutro

Gb: Glicerina bruta

IC: Intervalo de confiança

IFMG: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais

K: Potássio

kg: Quilograma

l: Litro

MM: Matéria mineral (cinzas)

N: Nitrogênio

NH₃: Amônia

NT: Nitrogênio total

NTK: Nitrogênio total Kjeldahl

O₂: Oxigênio

P: Fósforo

pH: Potencial Hidrogeniônico

PT: Fósforo total

RLI: Resíduo líquido de incubatório

S: Enxofre

ST: Sólidos totais

SV: Sólidos voláteis

TRH: Tempo de retenção hidráulica.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 Justificativa e hipótese de estudo	18
2 OBJETIVOS	21
2.1 Geral	21
2.2 Específicos	21
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
3.1 Digestão anaeróbia	22
3.2 Etapas de digestão anaeróbia	23
<i>3.2.1 Hidrólise</i>	<i>25</i>
<i>3.2.2 Acidogênese</i>	<i>25</i>
<i>3.2.3 Acetanogênese</i>	<i>26</i>
<i>3.2.4 Metanogênese</i>	<i>27</i>
<i>3.2.5 Sulfetogênese</i>	<i>27</i>
3.3 Fatores que influenciam a digestão anaeróbia	28
<i>3.3.1 Temperatura</i>	<i>28</i>
<i>3.3.2 Potencial Hidrogeniônico</i>	<i>29</i>
<i>3.3.3 Nutrientes</i>	<i>30</i>
<i>3.3.4 Toxicidade</i>	<i>31</i>
3.4 Caracterização da biodegradação de dejetos de ovinos	31
3.5 Caracterização da biodegradação de dejetos de bovinos	35
3.6 Manejo de dejetos na Agropecuária	36
<i>3.6.1 Biodigestores Anaeróbios</i>	<i>37</i>
<i>3.6.1.1 Modelo indiano</i>	<i>39</i>
<i>3.6.1.2 Modelo chinês</i>	<i>40</i>
<i>3.6.1.3 Modelo Batelada</i>	<i>42</i>
<i>3.6.1.4 Modelo Tubular ou lagoa coberta</i>	<i>43</i>
<i>3.6.1.5 Modelo de Fluxo Ascendente - UASB</i>	<i>45</i>
<i>3.6.1.6 Modelo CSTR</i>	<i>46</i>
4 MATERIAL E MÉTODOS	47
4.1 Local de realização do experimento	47
4.2 Caracterização dos rebanhos fornecedores de dejetos	47
4.3 Caracterização da composição dos dejetos de ovinos e bovinos mestiços	49

SUMÁRIO

4.4 Metodologia de coleta de amostra de dejetos e preparo dos substratos	49
4.5 Caracterização dos biodigestores utilizados.....	50
4.6 Delineamento Experimental	51
4.7 Determinação da proporção de inclusão de dejetos de bovinos em dejetos de ovinos que proporciona a maior eficiência no processo da codigestão anaeróbia.....	52
4.8 Determinação do potencial de produção de biogás dos dejetos de ovinos e bovinos..	53
4.9 Comprovação da presença de metano no biogás	55
4.10 Elaboração de circular técnica sobre o efeito da inclusão de diferentes proporções de dejetos de bovinos em dejetos de ovinos no processo da codigestão anaeróbia.....	55
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	56
5.1 Caracterização da composição dos dejetos de ovinos e bovinos mestiços	56
5.2 Condições do meio reacional	58
5.2.1 <i>Eficiência de remoção e reduções de sólidos totais, sólidos voláteis e demanda bioquímica de oxigênio.....</i>	<i>58</i>
5.2.2 <i>Condutividade elétrica, pH e nutrientes</i>	<i>61</i>
5.3 Produção de biogás	63
5.3.1 <i>Produção acumulada e produção média diária de biogás</i>	<i>63</i>
5.3.2 <i>Produção de biogás entre os diferentes tratamentos</i>	<i>64</i>
5.3.3 <i>Potencial de produção de biogás.....</i>	<i>68</i>
5.3.4 <i>Comprovação da presença de metano no Biogás</i>	<i>71</i>
6 CONCLUSÃO.....	73
REFERÊNCIAS	74
APÊNDICES	83
ANEXOS	97

1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional e a expansão das cidades ocasionam a cada dia a necessidade do aumento da eficiência na produção agropecuária, devido à crescente demanda por alimentos. O Brasil é caracterizado por ser um dos maiores exportadores de *commodities* do mundo, como o minério de ferro e alumínio, e produtos agropecuários, sendo que estes últimos contribuem significativamente para uma balança comercial favorável. Além da agricultura, o país se consolidou também na pecuária, sendo produtor de carne bovina, suína, aves e ovinos, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (IBGE, 2016).

O Censo Agropecuário do IBGE de 2016 apontou que o Brasil possui um rebanho de ovinos em torno de 18,43 milhões de cabeça, e que, no mesmo ano foi comercializado aproximadamente 3,4 milhões de cabeças de ovinos, num valor total 641,015 milhões de reais. O rebanho ovino nacional vem crescendo anualmente, sendo a região Nordeste a que concentra o maior número de animais, respondendo por 63,0% do rebanho nacional. A região Sul vem logo em seguida, com 23,9%, acompanhadas pelas regiões Centro-Oeste (5,7%), Sudeste (3,7%) e Norte (3,7%) (IBGE, 2016).

Ainda de acordo com o Censo Agropecuário do IBGE de 2016, o efetivo brasileiro de bovinos é de aproximadamente 218,23 milhões de cabeças. O Centro-Oeste lidera o plantel de bovinos com 34,4% do total nacional, possuindo grandes extensões territoriais que se encontram próximos aos grandes centros de produção de grãos e a uma grande rede agroindustrial, fatores que contribuem favoravelmente a criação de animais de forma extensiva (pasto) e intensiva (confinamento). A Região Norte possui o segundo maior rebanho efetivo do País, registrando 22,2% do total nacional, seguido pelo Sudeste (18,2%), Nordeste (13,4%) e Sul (11,8%).

Muitos produtores estão optando pelo sistema de produção de animais em confinamento especialmente nas regiões próximas aos grandes centros urbanos, tanto de ovinos como de bovinos, pois demandam menores áreas de produção, aumentam a eficiência produtiva do rebanho com a redução da idade ao abate e possibilita a produção de carne no período da entressafra (GUIMARÃES *et al.* 2017). O sistema intensivo caracteriza-se pela produção de grandes quantidades de dejetos em pequenas áreas e para minimizar os impactos ambientais, os produtores devem dispor de alternativas para a manipulação e manejo dos dejetos, devido à possibilidade de atuarem como vetores de doenças e contaminarem a água, o solo e o ar. Lucas Junior *et al.* (2005) estimaram a produção média de dejetos *in natura* de ovinos e caprinos em 600 kg/animal por ano, considerando os dados citados pelo IBGE no

censo de 2016 sobre o rebanho nacional de ovinos de aproximadamente 18,43 milhões de animais, estima-se assim a produção de 11,06 milhões de toneladas de dejetos por ano.

Já a produção média de dejetos *in natura* de bovinos de corte é de 24 kg/dia (ENSMINGER e EUGENE, 1990), considerando os dados do IBGE no censo de 2016 sobre o rebanho de bovinos de aproximadamente 218,23 milhões de animais, é estimada a produção anual de 1,91 bilhões de toneladas de dejetos. Cabe destacar que a quantidade de dejetos excretados é influenciada, entre outros fatores, pelo peso, idade, quantidade e qualidade do alimento fornecido, estado fisiológico, sistema de produção e estação do ano. Já animais estabulados recebendo altos níveis de alimentação terão produção mais elevada de dejetos do que animais mantidos em regime de pastejo (JUNQUEIRA, 2011).

A disposição inadequada de resíduos de origem animal pode favorecer o desenvolvimento de organismos indesejáveis, como algumas espécies de bactérias, parasitas, fungos e vírus que transmitem doenças para os seres humanos e outros animais. Podem ainda contaminar o solo e a água, por causa dos teores elevados de Nitrogênio (N) e Fósforo (P) que podem lixiviar e atingir o lençol freático. Durante a degradação desses dejetos é produzido metano (CH₄), dióxido de carbono (CO₂) e gás sulfídrico (H₂S) que contribuem para o aumento do efeito estufa e causam odores indesejáveis (ORRICO JÚNIOR *et al.* 2011 e AMORIM, 2005).

Esses resíduos de origem animal precisam ser tratados adequadamente, para diminuir os riscos de contaminação de seres humanos e outros animais por micro-organismos patogênicos e, também, a poluição ambiental, sendo os processos da digestão anaeróbia e da compostagem os mais utilizados. O seu tratamento é indispensável para a propriedade obter a adequação ambiental de seu empreendimento e para obter permissão de lançamento de águas residuárias em corpos receptores (ORRICO JÚNIOR *et al.* 2011 e AMORIM, 2005).

A maior parte dos constituintes dos resíduos de origem animal é matéria orgânica e sua aplicação em sistemas de reutilização, como os biodigestores, é de extrema importância em aspectos econômicos e ambientais. A digestão anaeróbia é um processo eficaz adotado para o tratamento e aproveitamento dos resíduos gerados pela produção animal, pois proporciona a reciclagem energética (produção de biocombustível) e também de nutrientes (produção de biofertilizante), além de evitar a contaminação do meio ambiente (CHERNICHARO, 2016).

A digestão anaeróbia é um processo que promove na ausência do oxigênio a transformação de materiais orgânicos complexos em produtos mais simples (gases e nutrientes em forma estáveis ou menos poluentes). Como resultado têm-se a redução dos

Sólidos Voláteis (SV) e um efluente com considerável manutenção das concentrações de N, P e potássio (K) (KUNZ *et al.* 2019). Com objetivo de potencializar o processo de digestão anaeróbia, diversos autores sugerem como opção a codigestão anaeróbia de resíduos orgânicos, utilizando-se dois ou mais produtos que em conjunto atuem de forma benéfica por meio de suas propriedades específicas no processo de digestão (RODRIGUES, 2005 e ARAÚJO, 2012).

A codigestão permite o aumento no rendimento da produção de biogás, se comparado com a digestão de apenas um substrato. Segundo definição descrita por Angelidaki e Ahring (1997), a codigestão é uma forma de tratamento conjunta para diferentes tipos de resíduos.

Para Rodrigues (2005), a codigestão de resíduos orgânicos é viável, pois aumenta a estabilidade do processo de tratamento, suplementando o meio de digestão com nutrientes que podem estar em falta em um dos substratos, contribuindo para um melhor desempenho do processo de digestão anaeróbia e para a produção de um biofertilizante de melhor qualidade, quando comparado à digestão de um substrato apenas.

Mata-Alvarez *et al.* (2014) fizeram uma revisão bibliográfica crítica sobre a codigestão anaeróbia entre os anos de 2010 e 2013, e de acordo com o estudo, os principais substratos utilizados no processo de codigestão anaeróbia são dejetos de animais (54 %) - que incluem dejetos de bovinos, suínos, aves e ovinos - , seguidos por lodo de esgoto (22%) e fração orgânica de resíduos sólidos municipais (11%). Segundo os autores os cossustratos mais empregados são resíduos de indústrias (41%), resíduos de agricultura (23%) e fração orgânica de resíduos sólidos municipais (20%). No período da revisão houve um crescimento de 75% no número de artigos publicados com o tema da codigestão anaeróbia, evidenciando como o interesse em novos estudos na área está aumentando entre os pesquisadores.

A codigestão anaeróbia apresenta-se como uma alternativa para melhorar o desempenho do processo de reutilização de dejetos de ovinos em biodigestores, pois os mesmos apresentam-se em formato de pequenas cápsulas pouco permeáveis – característica que dificulta a sua degradação – devendo ser triturada para favorecer o processo de degradação. As dejeções de ovinos e caprinos possuem características químicas semelhantes aos dejetos de outros animais, mas as dejeções, de modo geral, necessitam de maior tempo de retenção hidráulica e apresentam menores produções de biogás, se comparadas às dejeções de suínos, aves de postura, bovinos e cama de frango, possivelmente devido à sua forma física de pequenas cápsulas cilíndricas (ORRICO JÚNIOR *et al.*, 2011).

Mesmo com a fragmentação das dejeções dos ovinos, estes ainda apresentam propriedades desfavoráveis à digestão anaeróbia, como materiais lignocelulósicos que apresentam hidrólise dificultada, pois a celulose e a hemicelulose encontram-se envolvidas pela lignina, uma fração resistente que não é fermentada. Para melhorar o processo de digestão, pode-se incluir outro resíduo junto ao dejetos de ovinos, sendo o de bovinos uma boa opção por apresentar características favoráveis à digestão anaeróbia, como menores teores de constituintes fibrosos (CESTONARO, 2013).

1.1 Justificativa e hipótese de estudo

A pecuária está crescendo como resultado da dieta humana. Atualmente o número de animais de criação no mundo é de cerca de 22,8 bilhões de frangos, 967 milhões de porcos, 1 bilhão de cabras, 1,2 bilhão de ovelhas, 1,5 bilhão de bovinos e 201 milhões de búfalos (FAOSTAT, 2017). Assim, o setor pecuário é um importante usuário de recursos naturais e tem influência na qualidade do ar, clima global, qualidade do solo, biodiversidade e a qualidade da água, alterando os ciclos biogeoquímicos do N, P e carbono, dando origem a preocupações ambientais (TULLO *et al.*, 2019).

Tendo em vista todos esses fatores, a emissão de CH₄ da fermentação entérica do gado tem sido amplamente estudada e descrita como o principal contribuinte da emissão de Gases de Efeito Estufa (GEEs) do setor agrícola.

A pecuária é responsável por 18% do CH₄ e 9% do CO₂ das emissões de GEEs (UGBOGU *et al.* 2017). O metano é produzido durante a fermentação de matéria orgânica em ambientes úmidos e anaeróbios. Portanto, entre outros animais, os ruminantes são os principais produtores de metano, já que o rúmen é muito grande e tem um sistema de fermentação contínua (JEYANATHAN, MARTIN, MORGAVI, 2014). No total, os pequenos ruminantes contribuem com 12,25% do total de emissão de GEE de ruminantes na forma de CH₄ de fermentação entérica, armazenamento de esterco e sua aplicação e N₂O do manejo de dejetos. Isso é equivalente a 9,45 kg CO₂ por kg de peso corporal (ZERVAS; TSIPLAKOU, 2012).

Nos últimos anos, a emissão de GEEs tem ganhado mais atenção da sociedade, pois é esperado que os mesmos venham a contribuir ainda mais para o aumento da temperatura média global, podendo impactar também sobre o rendimento e produtividade da colheita, bem como sobre alimentos, suprimentos e preços, metabolismo e saúde animal, reprodução e produtividade (ZERVAS; TSIPLAKOU, 2012, PIRONDINI *et. al*).

O processo de digestão anaeróbia de resíduos agropecuários vem sendo estudado desde 1970 com o objetivo de promover a sua melhoria, pois o mesmo depende de condições específicas do meio reacional e da necessidade de diferentes tipos de micro-organismos. Fatores que influenciam e/ou melhoram o processo são objetivos de diversas pesquisas, incluindo a temperatura, taxa de carga orgânica, tempo de retenção hidráulica, composição do substrato, uso de inóculo e codigestão (ASSUNÇÃO, 2020).

Segundo Zhang *et al.* (2011), o uso de apenas dejetos de animal como matéria-prima da digestão anaeróbia pode produzir um baixo rendimento de CH₄ a partir do substrato afluente; por isso o mesmo sugere, para tornar esta tecnologia mais atraente para os agricultores e aumentar a produção de CH₄, a utilização da codigestão, a qual, processando múltiplos fluxos de resíduos em uma única instalação, irá contribuir para uma utilização eficiente dos resíduos e de equipamentos (ALATRISTE-MONDRAGON *et al.* 2006). Alguns autores têm citado a codigestão no uso eficiente de suas plantas de biodigestores, sendo um exemplo a Alemanha (MATA-ALVAREZ *et al.* 2011; MADSEN *et al.* 2011; WILKINSON, 2011; ASTALS *et al.*, 2012; FRIGON *et al.*, 2012).

A exploração do maior percentual do rebanho de ovinos nacional se desenvolve em estabelecimentos onde predomina o regime de produção familiar. Esses estabelecimentos não se dedicam exclusivamente à criação de ovinos, sendo também criados bovinos de corte e/ou leiteiro, em sistema semi-intensivo ou extensivo (SÓRIO, 2018). Para o desenvolvimento sustentável da ovinocultura e bovinocultura, é imprescindível a busca por novos métodos de gerenciamento e tratamento dos resíduos gerados por essas atividades, visando à máxima redução dos impactos ambientais e à otimização dos insumos usados na atividade, através de seu reúso ou reciclagem. Os biodigestores tratam e reutilizam os resíduos provenientes de atividades pecuárias, através do processo da digestão anaeróbia, gerando digestato (fertilizante) e energia alternativa (biogás).

Nesse contexto, a Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG) desenvolve pesquisas em produção vegetal e animal em seus muitos Campos Experimentais, contribuindo, assim, para o desenvolvimento sustentável da agropecuária mineira. No Campo Experimental de Pitangui (CEPI) são desenvolvidas pesquisas em Bovinocultura e Ovinocultura, e seus rebanhos produzem grandes quantidades de dejetos. Atualmente os dejetos produzidos por esses rebanhos são destinados à produção de composto orgânico e/ou adubação de lavouras na forma “*in natura*”. Durante a fase de produção do composto orgânico e decomposição do dejetos “*in natura*” usado na adubação, é produzido CH₄ que contribui para o aumento do efeito estufa.

Dessa forma, é finalidade desse trabalho disponibilizar um método de manejo e reutilização dos dejetos de ovinos e bovinos mais eficientes e ambientalmente corretos para o CEPI da EPAMIG e para produtores de Minas Gerais que criam ambos os animais em suas propriedades, utilizando biodigestores. Existe carência de informações sobre o desempenho do processo de digestão anaeróbia de dejetos de ovinos e bovinos mestiços alimentados a pasto – características inerentes à genética e ao manejo do rebanho adotado na maioria das propriedades onde predomina o regime de exploração familiar. Nota-se também a ausência de dados sobre o processo da codigestão anaeróbia de dejetos de ovinos e bovinos.

Assim, verificou-se a necessidade de realizar ensaios em escala laboratorial por meio de sistema batelada para avaliar o desempenho do processo da digestão e codigestão anaeróbia de dejetos de ovinos e bovinos, uma vez que os mesmos permitem avaliar de forma confiável a eficiência do processo e a capacidade de produção de biogás do substrato.

Para tanto foram formuladas as seguintes hipóteses de estudos:

- a) A eficiência do processo de digestão anaeróbia e a quantidade de biogás produzido por dejetos de ovinos são aumentados significativamente pela inclusão de dejetos de bovinos;
- b) Há uma determinada proporção de inclusão de dejetos de bovinos em dejetos de ovinos em que a eficiência do processo de digestão anaeróbia apresenta maior eficiência e produção de biogás.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Avaliar o processo de codigestão anaeróbia de diferentes misturas de dejetos de bovinos em dejetos de ovinos em biodigestores de bancada, modelo indiano, operando em batelada.

2.2 Específicos

- a) Caracterizar a composição dos dejetos do plantel de ovinos e bovinos mestiços;
- b) Determinar a proporção de inclusão de dejetos de bovinos em dejetos de ovinos que proporcione a maior eficiência no processo da codigestão anaeróbia;
- c) Determinar o potencial de produção de biogás dos dejetos de ovinos e bovinos;
- d) Elaborar uma circular técnica (produto tecnológico instrucional) sobre o efeito da inclusão de diferentes proporções de dejetos de ovinos em dejetos de bovinos no processo da codigestão anaeróbia, destinada a produtores rurais, técnicos da área e estudantes.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Digestão anaeróbia

O processo de digestão anaeróbia ocorre na ausência de oxigênio molecular, em que micro-organismos degradam a matéria orgânica complexa, como carboidratos, proteínas, celulose e lipídios, transformando-os em compostos mais simples, como metano, dióxido de carbono, sulfeto de hidrogênio, água, amônia, hidrogênio e nitrogênio, extraindo energia e compostos necessários para o seu próprio crescimento (VON SPERLING, 2014). Os processos biológicos de tratamento de esgotos fundamentam-se na capacidade de os micro-organismos envolvidos utilizarem os compostos orgânicos biodegradáveis, transformando-os em subprodutos, que podem se apresentar na forma sólida (lodo biológico), líquida e gasosa (metano, gás carbônico etc.), que podem ser removidos do meio (CHERNICHARO, 2016).

A digestão anaeróbia tem sido muito utilizada no tratamento de resíduos sólidos e líquidos, incluindo dejetos de animais, fração orgânica de lixo urbano, fração orgânica de efluentes industriais, e lodo de estação de tratamento de esgotos. Durante o processo de digestão anaeróbia, o maior percentual da matéria carbonácea é convertido em biogás (entre 70 e 90%) e pequena parte do material orgânico é transformada em biomassa microbiana que vem a constituir o lodo de fundo (de 5 a 15%) e entre 10 e 30% de matéria orgânica deixa o biodigestor sem ter sido digerida (CHERNICHARO, 2016).

Nos sistemas aeróbios utilizados no tratamento de resíduos, o percentual da matéria carbonácea degradada biologicamente está entre 40 e 50% de sua conversão em biogás e entre 30 e 40% da matéria orgânica é convertida em biomassa, constituindo-se assim o lodo de fundo do sistema; entre 5 e 15% de matéria orgânica, por sua vez, deixa o sistema sem degradação (LUCENA, 2008, SIQUEIRA, 2008 e CHERNICHARO, 2016).

A digestão anaeróbia é um tratamento muito utilizado para os dejetos de animais, cuja capacidade de tratamento aumentou de 0,1 milhão t^{-1} em 1990 a 46 milhões t^{-1} em 2016 espalhados em 17 países da União Europeia (BAERE E MATTHEEUWS, 2010; ECOPROG, 2017). A digestão anaeróbia permite simultaneamente:

- (i) geração de bioenergia;
- (ii) produção de nutriente rico e corretivo do solo e;
- (ii) redução das emissões de GEE e controle do odor (NESHAT, 2017).

O efluente líquido tratado pode ser utilizado na fertirrigação, pois seu teor de nutrientes é alto. Como desvantagens do processo de digestão anaeróbia, têm-se alta sensibilidade das bactérias ao pH, temperatura, sobrecargas orgânicas e hidráulicas, necessidade nutricional, compostos tóxicos, além da necessidade do uso de inóculo para diminuir o longo tempo de processo de partida e a produção de fortes odores, caso o biodigestor apresente falhas operacionais (LUCENA, 2008, SIQUEIRA, 2008 e CHERNICHARO, 2016).

A eficiência do processo da digestão anaeróbia está relacionada a uma série de interações entre diversos grupos de micro-organismos, os quais possuem diferentes capacidades degradativas, taxas metabólicas, aclimatização e manutenção, o que ocorre dentro das unidades de tratamento, onde os compostos intermediários metabólicos de um grupo servirão como substrato para o desenvolvimento de outros. Quando bem adaptadas, a biomassa tem elevada atividade microbiológica e é capaz de suportar variações bruscas nas taxas de carregamento orgânico afluyente e também variações nas taxas hidráulicas (choque hidráulico) (CAMPOS, 1990). A digestão anaeróbia é composta por uma cadeia em série de reações sequenciais em que a velocidade de cada reação influi na velocidade global do processo. As reações mais lentas, denominadas limitantes, influenciarão no retardamento ou na aceleração das reações da velocidade global do processo (COSTA, 2007).

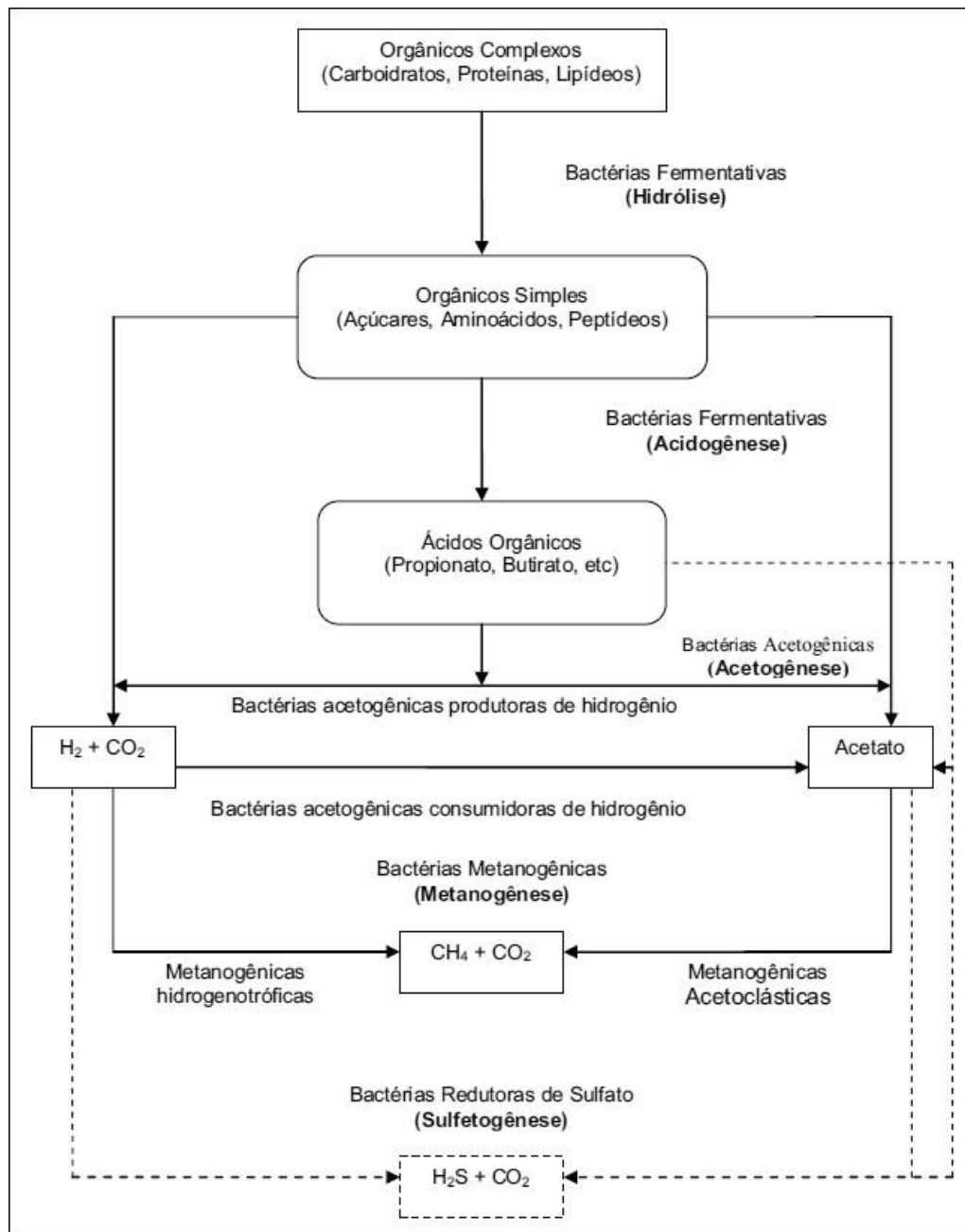
3.2 Etapas de digestão anaeróbia

A digestão anaeróbia pode ser dividida em várias rotas metabólicas, com participação de diversos grupos de microrganismos, em que cada grupo possui um comportamento fisiológico diferente, separando-se, assim, em quatro etapas distintas no processo global de conversão da biomassa: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese. Se o efluente a ser tratado contiver compostos de enxofre, o processo de digestão anaeróbia pode conter também a fase de sulfetogênese (LUCENA, 2008 e SIQUEIRA, 2008).

Na Figura 1 encontra-se o fluxograma representando as etapas da biodigestão anaeróbia. Os compostos orgânicos mais complexos como os carboidratos, proteínas e lipídios são hidrolisados em compostos orgânicos mais simples como açúcares, aminoácidos e peptídeos, que em seguida, são metabolizados pelas bactérias fermentativas acidogênicas em ácidos orgânicos como o acético, o propiônico e o butírico.

Em seguida as bactérias acetogênicas transformam os produtos da etapa anterior em hidrogênio (H_2), CO_2 e acetato; na sequência a metanogênese que resultará na formação do CH_4 através de dois grupos de bactérias: as metanogênicas acetoclásticas que utilizam o acetato e o metanol e as hidrogenotróficas que metabolizam o H_2 e o CO_2 e, por fim, a sulfetogênese que através das bactérias redutoras de sulfato, produzirá sulfeto (LUCENA, 2008, SIQUEIRA, 2008 e CHERNICHARO, 2016).

Figura 1 – Esquema das principais etapas do processo da biodigestão anaeróbia



Fonte: Autor adaptado de SIQUEIRA, 2008.

3.2.1 Hidrólise

Essa é a primeira etapa do processo, na qual o material orgânico particulado complexo como polímeros, carboidratos, proteínas e lipídios é hidrolisado em materiais dissolvidos mais simples (moléculas menores) que podem atravessar as paredes celulares das bactérias fermentativas. Essas moléculas menores (açúcares aminoácidos, peptídeos e ácidos graxos de cadeia longa) são hidrolizadas através de enzimas extracelulares excretadas pelas bactérias fermentativas hidrolíticas, pertencentes a gêneros como *Clostridium sp*, *Proteus vulgaris*, *Bacillus* e *Bacterioides*.

Essa etapa pode ser mais lenta que as demais e limitar a velocidade global do processo, podendo ser afetada pelo Tempo de Retenção Hidráulico (TRH), temperatura, Potencial Hidrogeniônico (pH), tamanho e distribuição das partículas (FARIA, 2012).

As bactérias hidrolíticas e fermentativas são constituídas por membros anaeróbios obrigatórios e anaeróbios facultativos. Os membros anaeróbios facultativo removem as pequenas concentrações de O₂ que são introduzidas no reator durante a fase de alimentação do biodigestor. Os membros anaeróbios obrigatórios ou estritos são sensíveis à presença de O₂, o qual causa toxicidade e morte dessas bactérias. Na ausência de O₂ a hidrólise ocorre de forma lenta (LUCENA, 2008 e CHERNICHARO, 2016).

A importância da etapa da hidrólise na velocidade do processo de degradação é dependente das características do substrato utilizado. Se a matéria orgânica é complexa e de difícil degradação, a hidrólise afetará a velocidade global de degradação, podendo ser considerada como etapa limitante da velocidade da digestão anaeróbia. O tempo de duração da etapa de hidrólise varia de acordo com as características do substrato, sendo de poucas horas para carboidratos e alguns dias para proteínas e lipídios. Lignocelulose e lignina são hidrolizadas lentamente, muitas vezes de maneira incompleta (KUNZ *et al*, 2019).

3.2.2 Acidogênese

Os materiais solúveis oriundos da hidrólise (açúcares, aminoácidos, peptídeos e ácidos graxos de cadeia longa) são metabolizados no interior das células das bactérias, através do metabolismo fermentativo, produzindo vários compostos mais simples como ácidos orgânicos, álcoois, cetona C₂O, H₂ e novas células microbianas (CHERNICHARO, 2016).

No processo de digestão anaeróbia equilibrada, a principal rota para a metanogênese é via acetato, CO₂ e H₂, podendo esses produtos originários da fermentação ser

utilizados prontamente pelas archaeas metanogênicas. Os micro-organismos acidogênicos são os mais eficientes energeticamente em todo o processo; esse fator proporciona que esses micro-organismos tenham o menor tempo de geração e a maior taxa de crescimento. Conclui-se que essa etapa só limitará o processo caso o substrato seja de difícil hidrolisação. Os produtos gerados pelas bactérias acidogênicas são substratos para as bactérias acetogênicas e as archaeas metanogênicas (LUCENA, 2008 e CHERNICHARO, 2016).

Bohrz (2010) considera que a maior parte das bactérias dessa etapa são anaeróbias estritas, porém, aproximadamente 1% delas consiste em bactérias facultativas, as quais podem metabolizar a matéria orgânica por via oxidativa, usando o oxigênio molecular, eventualmente presente, como aceptor de elétrons, removendo resíduos de oxigênio dissolvido no sistema - fato importante, pois permite eliminar qualquer efeito tóxico aos micro-organismos estritamente anaeróbios que dão sequência à biodigestão.

São várias as espécies de bactérias capazes de realizar a acidogênese. Entre os principais grupos presentes em reatores anaeróbios podemos citar *Clostridium*, *Bacteroides*, *Ruminococcus*, *Butiribacterium*, *Propionibacterium*, *Eubacterium*, *Lactobacillus*, *Streptococcus*, *seuromonas*, *Desulfobacter*, *Micrococcus*, *Bacillus* e *Escherichia* (Machado, 2016).

3.2.3 Acetanogênese

Nessa etapa as bactérias acetogênicas estabelecem relação de simbiose com as archaeas metanogênicas e as bactérias homoacetogênicas, sendo que estas oxidam os produtos gerados na etapa de acidogênese em substrato apropriados para os micro-organismos metanogênicos (H_2 , CO_2 e acetato), pela ação das bactérias homoacetogênicas e das bactérias simbióticas, também chamadas produtoras obrigatórias de H_2 .

As bactérias homoacetogênicas consomem H_2 e CO_2 para produção de acetato. Para que a reação de formação de ácidos de cadeia curta seja favorável, esta deve ocorrer associada ao consumo de H_2 pelas bactérias archaeas metanogênicas e bactérias homoacetogênicas. A simbiose entre os organismos desses grupos distintos de bactérias possibilita o crescimento de ambos os grupos, garantindo a viabilidade de produção de acetato a partir de ácidos orgânicos (LUCENA, 2008 e CHERNICHARO, 2016).

3.2.4 *Metanogênese*

É a etapa final do processo de conversão da matéria carbonácea em CH_4 e CO_2 e ocorre em condições estritamente anaeróbias, sendo realizadas pelas archaeas metanogênicas (LUCENA, 2008 e CHERNICHARO, 2016).

As archaeas metanogênicas podem ser divididas em dois grupos principais: um que produz CH_4 e CO_2 a partir do ácido acético ou metanol (fonte de carbono e energia) – que são as metanogênicas acetoclásticas, responsáveis por 60 a 70% de toda a produção de CH_4 – e outro grupo, formado pelas metanogênicas hidrogenotróficas, que produzem metano a partir do CO_2 (fonte de carbono e acceptor final de elétrons) e o H_2 (fonte de energia) (CHERNICHARO, 2016).

As archaeas metanogênicas acetoclásticas são mais sensíveis às mudanças de pH e a elevadas concentrações de amônia. Vale lembrar que os resíduos agropecuários possuem elevada concentração de amônia e esse fato pode implicar no predomínio das archaeas metanogênicas hidrogenotróficas no processo de digestão desses resíduos. Na ausência das metanogênicas acetoclásticas, o acetato produzido durante a digestão é oxidado pelas bactérias homoacetogênicas que produzem CO_2 e H_2 , os quais são utilizados como substrato pelas archaeas metanogênicas hidrogenotróficas, produzindo CH_4 (KUNZ *et al*, 2019).

3.2.5 *Sulfetogênese*

Durante a sulfetogênese, sulfatos, sulfitos e outros compostos à base de enxofre são reduzidos a sulfetos, por ação de um grupo de bactérias anaeróbias estritas, chamadas de bactérias redutoras de sulfato ou de bactérias sulforredutoras. As bactérias sulforredutoras são mais eficientes em remover a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) líquida do que as metanogênicas, mas a DBO removida pelo processo de sulfetogênese do meio líquido leva a produção de gás sulfídrico que causa problemas de corrosão e emissão de maus odores (CHERNICHARO, 2016).

Nessa fase ocorre uma concorrência das bactérias sulforredutoras com as metanogênicas gerando sulfeto de hidrogênio (H_2S) – o que pode promover a precipitação de íons metálicos e gás carbônico. Esse grupo de bactérias é considerado muito versátil, pois consegue utilizar uma ampla variedade de substratos. Isso inclui a cadeia de ácidos orgânicos voláteis, ácidos aromáticos, hidrogênio, metanol, etanol, glicerol, açúcares, aminoácidos e vários compostos fenólicos. Devido à sua capacidade de utilizar acetato e hidrogênio, as

bactérias redutoras de sulfato acabam competindo com as bactérias fermentativas, acetogênicas e metanogênicas pelos substratos disponíveis no processo de biodigestão anaeróbia (MACHADO, 2016).

3.3 Fatores que influenciam a digestão anaeróbia

3.3.1 Temperatura

A temperatura é um dos fatores mais importantes na digestão anaeróbia de efluentes líquidos, pois afeta os processos biológicos de diferentes maneiras. Ela determina, em parte, a velocidade de crescimento e, conseqüentemente, a densidade de micro-organismos da biomassa e também afeta a velocidade das reações químicas e bioquímicas envolvidas no processo, influenciando o processo de degradação biológica, o volume de biogás produzido e também de digestato (FARIA, 2012).

Para Chernicharo (2016) as bactérias metanogênicas podem sobreviver em condições extremas de temperatura, de 0 a 97 °C, mas os níveis ótimos de temperatura associados à digestão anaeróbia, variam de 30 a 35 °C na faixa mesófila e de 50 a 55 °C na faixa termófila. A maior parte dos biodigestores tem sido projetada para operar na faixa mesófila, embora também seja possível a operação destes na faixa termófila.

Speece (1996) em estudos observou que ocorre um declínio de aproximadamente 34% da atividade dos micro-organismos para cada 5 °C de queda de temperatura.

Dependendo da faixa de temperatura em que se encontra o substrato, determinado grupo de bactérias irá permanecer durante o processo de digestão – o que afetará diretamente a eficiência do processo. Essas faixas de temperatura podem ser associadas ao crescimento microbiano e são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1: Faixas de temperatura associadas ao crescimento microbiano

Faixa	Intervalo de temperatura (°C)
psicrófila	4 a 15
mesófila	20 a 40
termófila	45 a 70 e acima

Fonte: Autor adaptado de Chernicharo, 2016

No Brasil os biodigestores são projetados para operar na faixa mesófila, pois essas temperaturas são as próximas à temperatura ambiente, o que elimina a necessidade de sistema de aquecimento e reduz os custos operacionais, pois não haverá gasto com energia para aquecer o biodigestor. A faixa de operação termófila é bastante eficiente, pois nela são aumentados a taxa e o grau de decomposição do material carbonáceo, resultando em menor tempo de detenção hidráulico, o que reduz as dimensões necessárias dos digestores. (FARIA, 2012 e CHERNICHARO, 2016).

Os micro-organismos não possuem mecanismos de controle de temperatura interna em suas células, a qual é determinada pela temperatura ambiente (ALESSI, 2005 e CHERNICHARO, 2016). As bactérias são susceptíveis a choque térmico. Quando o biodigestor é exposto a uma mudança brusca de temperatura em um curto período de tempo, a digestão é prejudicada. Temperaturas elevadas conduzem a uma maior eficiência do processo de digestão, mas é fundamental que a temperatura seja mantida constante, devido à sensibilidade dos micro-organismos às mudanças bruscas de temperatura. É recomendado que a variação de temperatura seja, no máximo, de 2 °C ao longo do dia (SOLOMON, 2007; FARIA, 2012 e CHERNICHARO, 2016).

3.3.2 Potencial Hidrogeniônico

O pH influencia diversos equilíbrios químicos que ocorrem em processos de tratamento de águas residuárias e é um parâmetro importante nos estudos da digestão anaeróbia, influenciando diretamente a digestão anaeróbia, pois as bactérias metanogênicas, em meio ácido, anulam as atividades enzimáticas e, em meio alcalino, as bactérias fermentativas produzem anidrido sulfuroso e H₂ (SILVA e JUNQUEIRA, 2001).

Cada grupo de microrganismo tem um valor diferente de pH ótimo. As archaeas metanogênicas são extremamente sensíveis ao pH, com um valor ótimo entre 6,6 e 7,4, porém se consegue estabilidade da produção de metano numa faixa mais ampla de pH que pode variar entre 6,0 e 8,0. As bactérias fermentativas são menos sensíveis e podem se adaptar a maiores variações de pH, entre 4,0 e 8,5 (ARAÚJO, 2012 e CHERNICHARO, 2016).

O processo de digestão anaeróbia efetua-se entre pH de 6,3 e 7,8, cujo valor ótimo é 7; em valores abaixo de 6,3, a acidez aumenta rapidamente e ocorre a paralisação da etapa de fermentação. Os micro-organismos da fermentação ácida são menos sensíveis às variações de pH, então, quando este abaixa, a fermentação ácida pode prevalecer sobre a metanogênica, tendo como resultado o “azedamento” do biodigestor (VICENZI, 2002).

Quando o processo está estável as bactérias formadoras de ácidos fracionam a matéria orgânica e produzem ácidos voláteis, verificando-se aumento da acidez do meio e conseqüentemente a redução do pH. Por sua vez, as bactérias metanogênicas, ao agirem, transformam os ácidos em metano e assim o pH do meio se eleva, estabilizando assim o sistema (FARIA, 2012 e CHERNICHARO, 2016).

Nos digestores, à medida que ocorre a degradação de matéria orgânica, a tendência é que o pH se eleve – nesse momento haverá o maior pico de produção de metano. Isso pode acarretar na elevação do pH e, para retomar o equilíbrio do sistema e abaixar o pH, pode-se interromper a alimentação do biodigestor por alguns dias; isso resultará em tempo para que as metanogênicas reduzam a concentração de ácidos voláteis. Caso não haja oportunidade de interromper a alimentação do biodigestor, pode-se utilizar hidróxido de cálcio para restabelecer o pH do sistema (PINTO, 1999).

A influência do pH ocorre em todas as fases, mas principalmente na acetogênica, em que um pH alto não oferece condições ambientais necessárias para que as bactérias acetogênicas consigam converter os ácidos orgânicos gerados na fase de acidogênese (MACHADO, 2016)

3.3.3 Nutrientes

Os esgotos sanitários (domésticos) e os dejetos agropecuários apresentam os nutrientes em concentrações adequadas para o crescimento microbiano, com exceção do ferro. Os efluentes industriais são mais específicos em composição e, frequentemente, existe a necessidade de adição de nutrientes para que a degradação seja ótima. A baixa velocidade de crescimento dos micro-organismos anaeróbios, comparada à dos aeróbios, resulta num menor requerimento nutricional (CHERNICHARO, 2016).

A presença de concentrações adequadas de macro e micronutrientes são fundamentais para que os processos de tratamento de efluentes sejam operados com êxito. As células dos micro-organismos anaeróbios são constituídas por N, P e enxofre (S), aproximadamente nas proporções 12, 2 e 1%, respectivamente, de matéria seca. Para o processo anaeróbio são necessárias relações de 1000:5:1 de DQO, N e P, respectivamente. Os íons de enxofre, potássio, cálcio, magnésio, cloro e sulfato são necessários para o bom funcionamento da digestão anaeróbia. Elementos-traços de ferro, cobre, zinco, magnésio, molibdênio e vanádio são importantes para o crescimento celular. O requerimento de P

também pode ser estimado como um quinto (1:5) do requerimento de nitrogênio na base de massa (HAANDEL e LETTINGA, 1994, CHERNICHARO, 2016 e KUNZ *et al*, 2019).

O enxofre, como já citado, também é considerado essencial e sua concentração, em geral, deve ser da mesma ordem de grandeza ou levemente superior à de fósforo (MALINA e POHLAND, 1992).

3.3.4 Toxicidade

Com a finalidade que o processo da digestão anaeróbia aconteça de maneira eficiente, é necessário que exista um ambiente propício ao desenvolvimento dos microorganismos, sem a presença de materiais tóxicos em níveis que causem inibição do desenvolvimento microbiano. Um composto, quando presente em concentrações elevadas, pode ser tóxico; então a toxicidade deve ser considerada em termos de níveis tóxicos, ao invés da presença de determinado composto tóxico (CHERNICHARO, 2016).

Para evitar que os materiais tóxicos, como bactericidas, desinfetantes e antibióticos, interfiram no processo da digestão anaeróbia os mesmos devem ser removidos do substrato. Outra forma de neutralizar os elementos tóxicos é a diluição do substrato até que fiquem abaixo do limite de toxicidade (SOLOMON, 2007 e CHERNICHARO, 2016).

3.4 Caracterização da biodegradação de dejetos de ovinos

O dejetos de ovino apresenta características químicas, biológicas e físicas favoráveis ao desenvolvimento do processo da digestão anaeróbia, mas a sua capacidade de produção de biogás é mediana, principalmente por causa dos seus constituintes fibrosos, se comparada a outros dejetos agropecuários (AMORIM, 2002). De acordo com Orrico Junior e Orrico (2015), ovinos com peso médio de 20 kg produzem 0,45 kg de dejetos/animal/dia, com porcentagem de 55% de Sólidos Totais (ST) e 89% de Sólidos Voláteis (SV) dos ST.

Lopes *et al.* (2011) caracterizaram dejetos produzidos por ovinos e obtiveram as porcentagens de ST de 49,2%, SV de 82,23% dos ST e Demanda Química de Oxigênio (DQO) de 476,0 g O₂/kg. Maciel (2018) encontrou as seguintes composições do dejetos de ovinos ST 19 %, SV 79,23% dos ST, N 2,25% dos ST, C 23,40% dos ST, e Fibra detergente Neutro (FDN) de 58,93% dos ST.

Entre os fatores que estão envolvidos com a quantidade excretada de fezes e urina pelos animais têm-se os seguintes: peso, idade, nível de produção, estado fisiológico (animais

gestantes, secas e em lactação), quantidade e qualidade do alimento fornecido aos animais, sistema de produção (pasto, confinamento ou semiconfinamento) e inclusive a estação do ano. Assim torna-se fundamental a caracterização destes resíduos, considerando que os dejetos são ricos em nutrientes e demais constituintes relacionados às características de determinado alimento, que muitas vezes não é totalmente degradado no organismo do animal – o que beneficia e justifica a adoção de técnicas para o aproveitamento destes resíduos (AMORIM, 2005).

Na literatura científica existem trabalhos apontando a biodigestão anaeróbia como uma alternativa eficiente no tratamento dos dejetos de ovinos, mas que resultam em baixas produções de biogás e metano, em virtude da quantidade elevada de FDN (45,9%) e deficiência em N (1,73%) (CESTONARO *et al.* 2015).

A determinação de frações fibrosas é importante, pois altos teores de fibras no material de digestão podem diminuir a ação microbiana e reduzir a degradabilidade do resíduo, afetando o processo de biodigestão e a produção de biogás. Os materiais lignocelulósicos caracterizam-se por apresentar hidrólise dificultada, pois a celulose e a hemicelulose encontram-se envolvidas pela lignina, uma fração resistente que não é fermentada (WYMAN *et al.* 2005). Al-Masri (2001) observou que o aumento de material lignocelulósico misturado ao resíduo de ovinos e caprinos diminui as produções de biogás. Isso ocorre devido à redução de SV, FDN e energia bruta no substrato, ou seja, à escassez de matéria orgânica facilmente fermentável.

Dejetos de ovinos e caprinos possuem características químicas semelhantes aos dejetos de outros animais, mas as dejeções necessitam de maior TRH e apresentam menores produções de biogás, quando comparadas às dejeções de suínos, aves de postura, bovinos e cama de frango, possivelmente devido à sua forma física (ORRICO JÚNIOR *et al.*, 2011).

Os principais nutrientes contidos nos dejetos são classificados em macrominerais (N, P, K, cálcio e magnésio) e microminerais (ferro, sódio, zinco, manganês e cobre). Segundo a avaliação de Makan (2015), a composição química dos dejetos de ovinos é: umidade (68%), Carbono Orgânico Total (COT) (48,66%), nitrogênio total (3,75%), relação Carbono/Nitrogênio (C:N) (12,97), fósforo total (1,87%) e pH (6,14).

Em uma análise feita por Al-Masri (2001) sobre a influência de diferentes resíduos de origem animal e vegetal na produção de biogás, foram utilizados dejetos de ovinos e caprinos para o preparo dos substratos, mantidos por 40 dias à temperatura de 30°C, em biodigestores anaeróbios operando em batelada. O autor observou nos substratos preparados com as proporções 100, 80, 60 e 40% de dejetos de ovinos e 0, 20, 40 e 60% de

resíduo vegetal, as produções de biogás de 62, 53, 49 e 40 l/kg de SV, constatando que ocorreu um decréscimo atribuído ao aumento da proporção de resíduo vegetal nos substratos, ocasionando uma variação nos teores de ST, SV e FDN.

Quadros *et al.* (2010) estudaram os dejetos de ovinos e caprinos em biodigestor operando em sistema contínuo de abastecimento com tempo de retenção hidráulica de 45 dias e verificaram a produção média de 61 litros de biogás por quilograma de dejetos adicionados, com composição média do biogás de 58% de metano e 34% de gás carbônico. Segundo os autores, a produção média de biogás desses dejetos está entre os limites de 43 a 103 litros por quilograma de dejetos, demonstrando que o processo de digestão anaeróbia foi satisfatório para a produção de biogás.

Araújo (2012) conduziu um estudo com os objetivos de caracterizar os dejetos produzidos por ovinos alimentados com duas dietas: 40% de volumoso e 60% de concentrado (40:60) e 60% de volumoso e 40% de concentrado (60:40); e efetuar a codigestão anaeróbia destes resíduos com doses crescentes de glicerina bruta (0, 3, 6, 9, 12 e 15% em relação aos sólidos totais) em biodigestores de batelada de bancada. Para o ensaio de caracterização dos dejetos, foram utilizados seis animais, machos, não castrados, com idade média de 90 dias e peso vivo médio inicial de 20 kg.

Os resultados encontrados por Araújo (2012) demonstraram que não foram observadas diferenças significativas para as produções e teores de ST dos dejetos entre as dietas testadas. Para as duas dietas, foram obtidas produções médias de 0,45 kg dejetos/animal x dia, porém, para as quantidades de ST nos dejetos, os valores foram de 0,56 e 0,53 gramas de ST por grama de dejetos para as dietas contendo 40:60 e 60:40, respectivamente.

O teor de SV dos dejetos dos ovinos que consumiram a dieta em 60% de concentrado (0,89 g de SV / g de ST) foi superior ao observado para os dejetos de ovinos alimentados com 40% de concentrado (0,87 g de SV / g de ST).

Também foi observado aumento no valor da DQO à medida que o concentrado foi utilizado em maior proporção na alimentação dos animais. Foram observados valores de 285,51 e 232,31 g de O₂/litro para os dejetos de ovinos alimentados com a dieta de 60 e 40% de concentrado, respectivamente.

Em seu estudo, Araújo (2012) observou que não ocorreram diferenças significativas para os constituintes fibrosos – com valores de 69,8 e 74,4% de FDN e 34,9 e 35,2% de FDA – com base nos ST dos dejetos dos ovinos alimentados com as dietas que continham a proporção de 40% e 60% de volumoso, respectivamente. Porém a autora ressalta que a determinação destes constituintes fibrosos é importante, uma vez que as frações fibrosas

(FDN e FDA), em quantidades elevadas no material a ser digerido, pode dificultar a degradação realizada pelos micro-organismos e assim comprometer a redução do material no interior dos biodigestores, podendo influenciar inclusive no comportamento da produção do biogás no processo de biodigestão anaeróbia.

O resultado referente à produção total de biogás encontrado por Araújo (2012) demonstrou que ocorreu um efeito linear positivo da glicerina bruta, indicando que, na medida em que se aumentaram as inclusões de glicerina bruta ao substrato, acresceram-se as produções de biogás. A autora acredita que este comportamento possa estar relacionado com a presença de nutrientes nos substratos durante a codigestão anaeróbia, assim favorecendo a produção de biogás. Com relação à codigestão de dejetos de ovinos e glicerina bruta, no experimento, os rendimentos de biogás por quantidade de ST adicionada ao biodigestor foram maiores para os dejetos originados de animais alimentados com a dieta 40:60 (maior proporção de alimento concentrado), em relação aos substratos preparados com os dejetos de ovinos alimentados com a dieta 60:40 (menor proporção de alimento concentrado).

De acordo com os resultados obtidos, foi concluído que o potencial de produção de biogás por kg de SV adicionados ao biodigestor teve aumento linear positivo da produção de biogás conforme as doses de glicerina bruta (0; 3; 6; 9; 12 e 15%), apresentando os valores de 223,4; 287,4; 308,9; 336,6; 344,9 e 362,937 litros de biogás/kg de SV adicionados, respectivamente.

Araújo (2012) concluiu que a porcentagem de redução de sólidos (ST e SV) e a de constituintes fibrosos dos afluentes e efluentes apresentaram o mesmo comportamento, ou seja, foram influenciadas pela interação das dietas e das doses de glicerina bruta. Notou-se que as maiores reduções ocorreram em substratos preparados com os dejetos dos ovinos alimentados com a dieta 60:40 – situação em que foi fornecida maior quantidade de alimento volumoso na dieta. Este comportamento pode estar associado às quantidades de FDN e FDA adicionados aos substratos preparados com os dejetos dos animais alimentados pelas diferentes dietas. Os teores de FDN e FDA foram maiores nos substratos preparados com os dejetos dos ovinos alimentados com a dieta 60:40.

Maciel (2018) conduziu um estudo com o objetivo de determinar níveis ótimos de inclusão de Resíduo Líquido de Incubatório (RLI) nos dejetos de ovinos no processo da codigestão anaeróbia em biodigestores semicontínuos, adotando-se diferentes THR, objetivando avaliar a redução de constituintes sólidos e fibrosos, bem como a produção de biogás e metano.

As maiores reduções de ST observadas por Maciel (2018) foram de 66,66; 69,75 e 73,82%, com a inclusão de 12,03; 13,04 e 12,76% de RLI nos TRH de 12, 17 e 22 dias, respectivamente. Já as maiores reduções de DQO com inclusões de 14,78; 14,43 e 12,65% de RLI, que foram de 55,71; 58,00 e 60,59% nos TRH de 12, 17 e 22 dias, respectivamente.

Maciel (2018) concluiu haver efeito significativo entre as reduções de FDN e o TRH, com reduções de 45,73% e 44,36% nos TRH de 22 e 17 dias, respectivamente. O TRH de 22 dias apresentou as maiores produções específicas de biogás de 507,20 l/kg de ST com a dose 9,81% de RLI e 652,47 l/kg de SV com a inclusão de 9,71% de RLI. As máximas produções específicas de metano por ST foram de 195,18; 263,68 e 271,31 l/kg, com as inclusões de RLI de 9,80; 10,92 e 10,55% nos TRH de 12, 17 e 22 dias, respectivamente. Maciel (2018) concluiu que codigestão de dejetos de ovinos com diferentes inclusões de RLI promoveram redução dos constituintes sólidos e fibrosos, aumentando a produção de biogás (CH₄, CO₂ e outros gases) e CH₄.

3.5 Caracterização da biodegradação de dejetos de bovinos

Segundo Orrico Junior *et al.* (2010) o potencial de produção de biogás de dejetos de ruminantes é variável de acordo com a qualidade nutricional dos alimentos fornecidos. São esperadas diferenças entre dejetos coletados de animais mantidos em pastagens e animais que recebem alguma suplementação alimentar, principalmente de alimentos concentrados (Orrico Junior *et al.*, 2010).

Junqueira (2011) avaliou o processo de biodigestão anaeróbia, a produção e o potencial de produção de biogás de dejetos bovinos confinados, com e sem separação da fração sólida, em seis biodigestores batelada. O volume de total de biogás produzido foi 0,6483 m³ e os potenciais de produção de biogás foram de 0,43 m³ de biogás/kg de ST reduzidos e 0,48 m³ de biogás/kg de SV reduzidos sem a separação da fase sólida. Para o dejetos com separação da fase sólida 0,50 m³ de biogás/kg de ST foi reduzido e no de SV houve uma redução de 0,56 m³ de biogás/kg.

Orrico Junior *et al.* (2012) realizaram estudos para identificar possíveis alterações na composição e no processo de biodigestão anaeróbia dos dejetos produzidos por bovinos Canchim e Nelore em diferentes períodos do confinamento e alimentados com diferentes proporções de volumoso e concentrado (40% de volumoso e 60% de concentrado e 60% de volumoso e 40% de concentrado). Ele concluiu que não houve efeito do genótipo nem do período sobre a composição dos dejetos, no entanto o aumento da proporção de volumoso na

dieta levou a menor eficiência do processo de biodigestão anaeróbia, pois foi observado aumento de 26,31% no volume de metano produzido na dieta com 60% de concentrado com relação à dieta com 40%, de concentrado.

Orrico Junior *et al.* (2012) encontrou as produções de 370 l de biogás/kg de ST adicionados, 240 l de biogás/kg de ST reduzidos, 420 l de biogás/kg de SV adicionados e 1.550 l de biogás/kg de ST reduzidos para a dieta de 60% de volumoso e 40% de concentrado.

Para a dieta de 40% de volumoso e 60% de concentrado, os valores foram 280 l de biogás/kg de ST adicionados, 870 l de biogás/kg de ST reduzidos, 300 l de biogás/kg de SV adicionados e 920 l de biogás/kg de ST reduzidos. Segundo o autor, o benefício ocasionado pela adição de alimento concentrado à dieta dos animais sobre a degradação dos substratos pode estar relacionado aos menores teores de constituintes fibrosos (celulose, hemicelulose e lignina) que, em menores quantidades, favorecem as maiores reduções de ST, SV, DQO e DBO.

Em seu estudo Orrico Junior *et al.* (2012) encontraram os valores de ST de 355,2 g/kg de Matéria Natural (MN) e de SV 324,5 g/kg de MN para a dieta de 60% de volumoso e 40% de concentrado. Para a dieta de 40% de volumoso e 60% de concentrado os valores foram de ST de 333,5 g/kg de MN e de SV 304,9 g/kg de MN.

Güngör - Demirci e Demirer (2004) avaliaram a composição dos dejetos de bovinos destinados ao abate, que apresentaram teores de ST de 16,9% e 83,2% de SV, DQO iguais a 1.237,5 mg O₂/g de massa seca e concentrações de 4,5, 2,4 e 3,4 mg de N, NH₃ e P, respectivamente, por grama de massa seca dos dejetos.

3.6 Manejo de dejetos na Agropecuária

A demanda por alimentos de uma população mundial em crescimento gera fortes pressões para o desenvolvimento do setor agropecuário. Mas não houve preocupação com os impactos ambientais negativos que esse desenvolvimento gera sobre o meio ambiente. Então, nesse cenário, torna-se essencial a utilização de práticas sustentáveis para mitigar a emissão de gases do efeito estufa (gás carbônico e sulfídrico) e para redução da degradação do ambiente (MIELE *et al.* 2015). O manejo adequado de resíduos agropecuários contribui para a redução da emissão dos gases causadores do efeito estufa – o que representa o equacionamento de um problema ambiental, além de contribuir para o aumento na renda dos agricultores através do composto orgânico produzido e da energia alternativa gerada pelo biogás. A biomassa de origem animal e vegetal refere-se à fração biodegradável de produtos

agropecuários e apresenta elevado potencial para se transformar em fontes de energia alternativa (ANEEL, 2015).

Os três níveis básicos de tratamentos de dejetos segundo Cardoso *et al.* (2015) e Von Sperling (2014) são os tratamentos físicos, químicos e biológicos. O manejo e a escolha do método de tratamento dos dejetos realizados na propriedade são principalmente baseados na disponibilidade financeira e do objetivo final do processo, o qual pode ser redução da carga orgânica, remoção de nutrientes, eliminação de organismos patogênicos, reutilização da água, etc.

O tratamento físico ou primário consiste na separação da parte sólida e líquida. O dejetos passa por um ou mais processos físicos, podendo ser por sistemas de peneiramento, decantação, centrifugação e/ou prensagem (VON SPERLING, 2014 e CARDOSO *et al.* 2015).

Os sistemas biológicos, também denominados secundários, são utilizados com maior frequência para o tratamento de efluentes com altos teores de matéria orgânica biodegradável, como dejetos de animais e esgotos domésticos, em função da alta biodegradabilidade da matéria orgânica. Eles são aplicados desde a Antiguidade e, neles, a remoção de contaminantes ocorre por meio de atividades biológicas, que podem ser realizadas por meio de lagoas e tanques aerados mecanicamente, processos anaeróbios, lagoas anaeróbias de estabilização, biodigestores e compostagem (VON SPERLING, 2014). Por fim, têm-se os sistemas químicos, que segundo Von Sperling (2014), são os métodos de tratamento nos quais a remoção ou conversão de contaminantes é realizada através da adição de produtos químicos ou devido às reações químicas.

3.6.1 Biodigestores Anaeróbios

Os biodigestores são constituídos por uma câmara fechada onde é colocada matéria orgânica com solução aquosa, denominada câmara de fermentação. A matéria orgânica sofre decomposição por bactérias anaeróbias ocasionando o biogás, que irá se acumular na parte superior da câmara denominada gasômetro. Esse processo de decomposição da matéria orgânica chama-se digestão anaeróbica, no qual os micro-organismos degradam a matéria orgânica na ausência de oxigênio.

Os biodigestores são projetados para tratar um determinado volume de resíduos orgânicos que pode ser de origem agropecuária, urbana ou industrial, e para produzir

determinado volume de biogás (SANTOS, *et al.* 2017). São eles que produzem biogás e digestado.

De acordo com Chernicharo (2016), os digestores anaeróbios são adequados para o tratamento de resíduos sólidos, incluindo dejetos de animais, culturas agrícolas, lodos de estações de tratamento de esgotos e resíduos sólidos urbanos e têm sido intensamente aplicados para essa finalidade.

Os biodigestores podem ser classificados de acordo com o seu tipo de operação (Borzani *et al.* 2001):

- a) Contínuo: o processo de fermentação é contínuo e caracteriza-se por possuir alimentação contínua do substrato ou meio de cultura, com uma determinada vazão constante, sendo o volume de reação mantido constante através da retirada contínua de digestado;
- b) Semicontínuo: este processo fermentativo caracteriza-se por, uma vez colocados no reator o substrato e o inóculo, seguir as operações de acordo com a sequência:
 - 1: Aguarda-se o término da fermentação;
 - 2: Retira-se parte do substrato fermentado, mantendo-se, no reator o restante do substrato fermentado;
 - 3: Adiciona-se ao reator um volume de substrato igual ao volume daquele fermentado retirado na operação 2. O substrato fermentado não retirado no reator na operação 2 serve de inóculo ao de fermentação da operação 3. Reinicia-se, desse modo, a sequência de operações descritas, que serão repetidas até não haver queda da produtividade;
- c) Descontínuo ou batelada: inicialmente o substrato é inoculado com microorganismos, permitindo que a fermentação ocorra em condições ótimas e no decorrer do processo fermentativo nada é adicionado. Terminada a fermentação, descarrega-se o material remanescente da biodigestão no biodigestor e este deve ser lavado, esterilizado e recarregado.

Kunz (2019) classificou-os de acordo com seu regime de alimentação (em batelada ou contínuos); com sua forma de alimentação (em ascendente ou laminar); com a concentração de sólidos no reator (digestão sólida, com $ST > 20\%$; ou digestão semissólida, em que $10 \leq ST \leq 15\%$ e digestão úmida, na qual $ST < 10\%$); e de acordo com o sistema de agitação em mistura completa, parcial ou sem mistura.

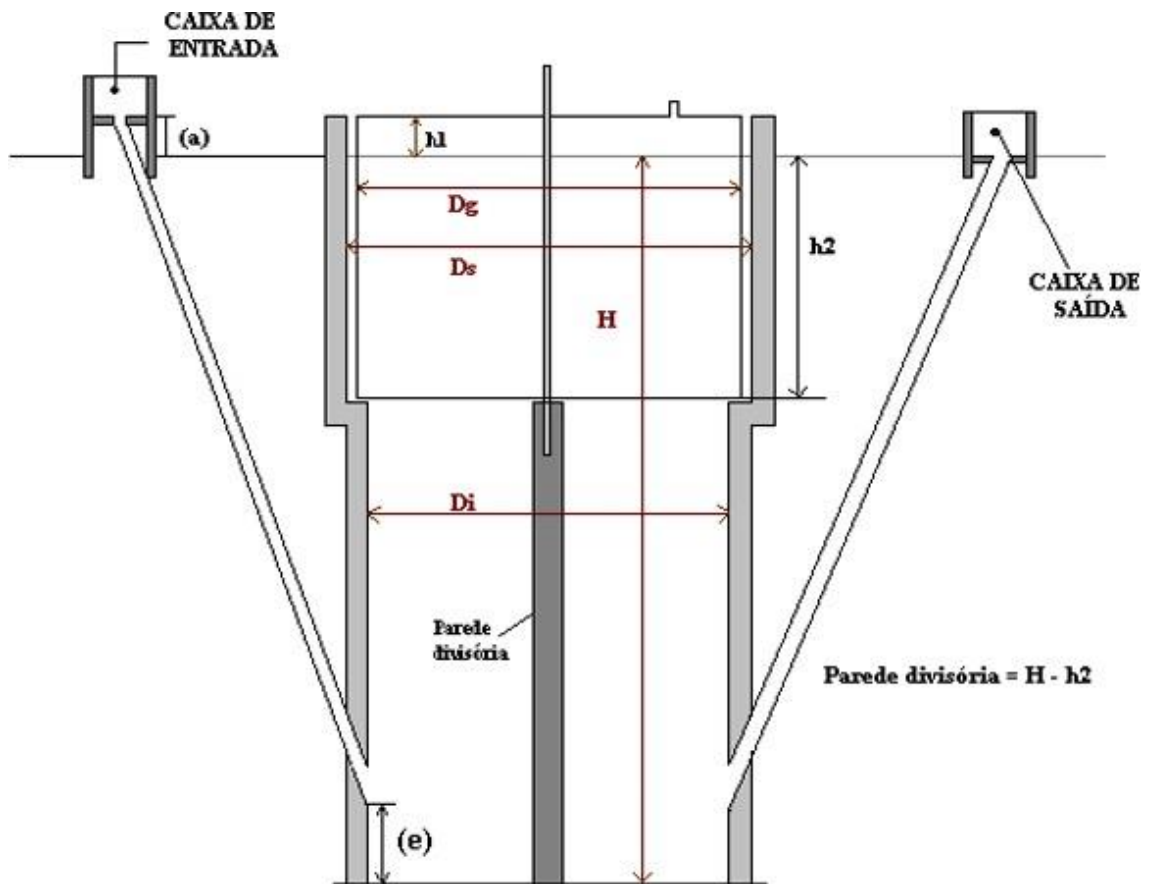
O ponto mais importante de um sistema de tratamento anaeróbio é a escolha do modelo de biodigestor, devendo-se buscar modelos adaptados ao tipo de substrato a ser tratado, às condições econômicas, climáticas e à operação do biodigestor.

3.6.1.1 Modelo indiano

Esse modelo se caracteriza por conter um gasômetro flutuante, que poderá ser mergulhado sobre a biomassa dentro da câmara de digestão ou sobre a lâmina d'água localizada externamente à câmara de digestão. Normalmente a câmara de fermentação possui uma parede central que serve para dividi-la em duas câmaras, para assim permitir que o material possa circular pelo seu interior, evitando assim o “choque hidráulico” (SANTOS, *et al.* 2017).

Esse modelo de biodigestor opera à pressão constante. À medida que o volume de gás produzido não é consumido, o gasômetro desloca-se verticalmente no sentido ascendente, aumentando o seu volume, mantendo assim, a pressão constante. O modelo é de fácil construção, porém o gasômetro pode encarecer o custo final do mesmo, pois o gasômetro geralmente é de metal. O substrato para sua alimentação deve conter concentração de sólidos totais inferior a 8%, para garantir a circulação do substrato em seu interior e evitar entupimentos de tubulações de entrada e saída de material (SANTOS, *et al.* 2017). Na Figura2 é apresentado um modelo esquemático desse biodigestor.

Figura 2: Modelo de biodigestor Indiano



FONTE: Adaptado de DEGANUTTI *et al.* 2002

SIGLAS:

H - altura do nível do substrato;

Di - diâmetro interno do biodigestor;

Dg - diâmetro do gasômetro;

Ds - diâmetro interno da parede superior;

h1 - altura ociosa (reservatório do biogás);

h2 - altura útil do gasômetro.

a - altura da caixa de entrada.

e - altura de entrada da tubulação com o afluyente.

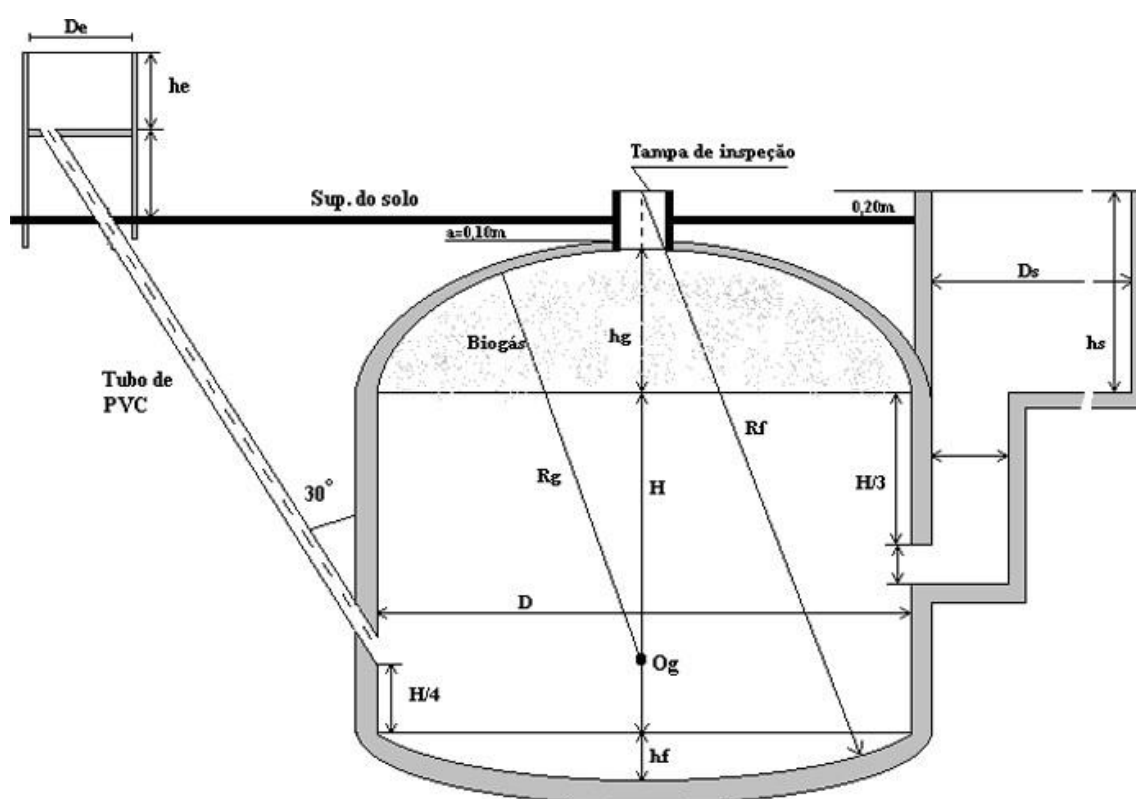
3.6.1.2 Modelo chinês

Esse modelo de biodigestor é formado por uma câmara cilíndrica com teto e câmara de digestão em alvenaria impermeável e apropriada para fermentação e

armazenamento do biogás (Figura 3). A pressão do biogás no interior do biodigestor é variável, não sendo, portanto, recomendado para instalações de grande porte devido à pressão interna, onde parte do biogás pode ser liberada para atmosfera (SANTOS, *et al.* 2017).

Também se caracteriza por ser de fluxo contínuo, não devendo a concentração de sólidos totais nele exceder a 8% para não causar entupimento das tubulações. Seu funcionamento tem como princípio a prensa hidráulica, de modo que aumentos de pressão em seu interior resultantes do acúmulo de biogás resultarão em deslocamentos do efluente da câmara de fermentação para a caixa de saída e em sentido contrário quando ocorre descompressão (BONTURI e DIKJ, 2012).

Figura 3: Modelo de biodigestor chinês



FONTE: Adaptado de DEGANUTTI *et al.* 2002

SIGLAS:

D - diâmetro do corpo cilíndrico;

H - altura do corpo cilíndrico;

hg - altura da calota do gasômetro;

hf - altura da calota do fundo;

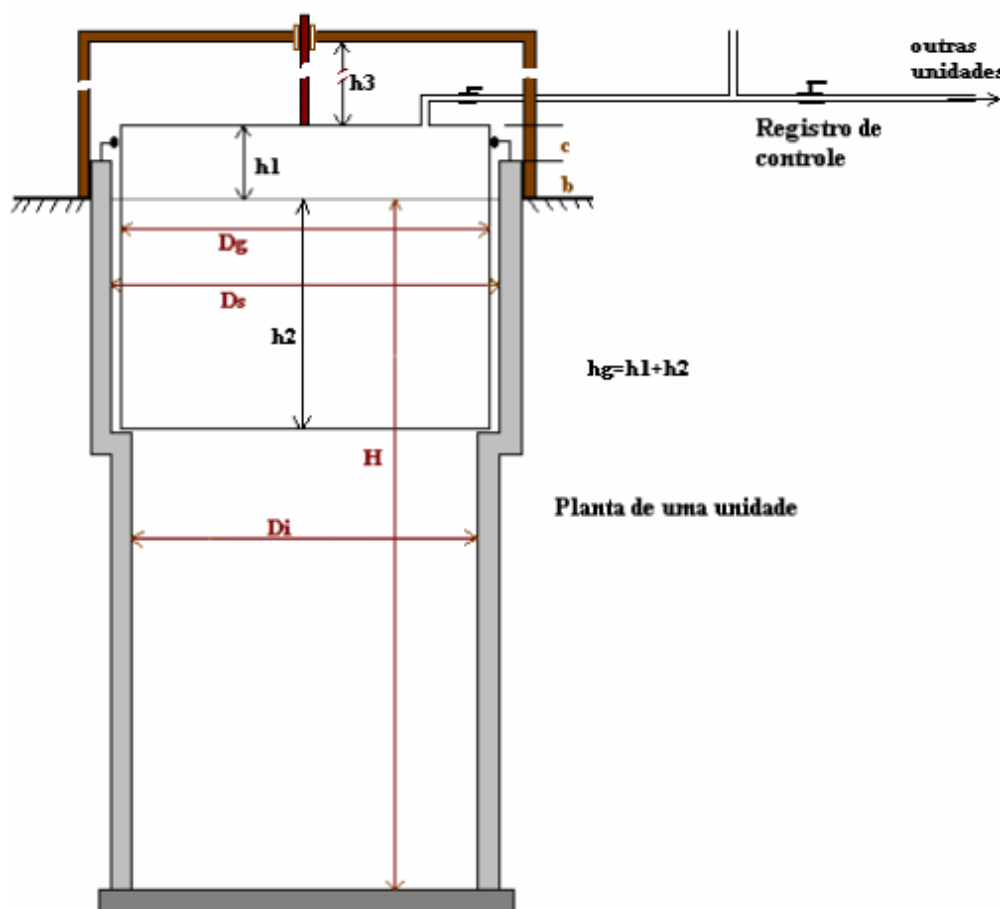
Of - centro da calota esférica do fundo;
Og - centro da calota esférica do gasômetro;
he - altura da caixa de entrada;
De - diâmetro da caixa de entrada;
hs - altura da caixa de saída;
Ds - diâmetro da caixa de saída;
a - afundamento do gasômetro.

3.6.1.3 Modelo Batelada

O biodigestor em batelada é de simples funcionamento e não requer muita exigência operacional. Esse modelo é abastecido de uma única vez. Nele a digestão se manterá por um período conveniente, sendo o material posteriormente descarregado, após o período de retenção hidráulico.

Ele é indicado para situações em que a disponibilidade de dejetos ou substrato é intermitente (SANTOS, *et al.* 2017); ou seja, enquanto, os modelos chinês e indiano são indicados para propriedades em que a disponibilidade de biomassa ocorre em períodos curtos – tome-se como exemplo aquelas que recolhem o gado duas vezes ao dia para ordenha, permitindo coleta diária de biomassa, que deve ser encaminhada ao biodigestor –, o modelo em batelada adapta-se melhor quando essa disponibilidade ocorre em períodos mais longos, como ocorre em granjas avícolas de corte, cuja biomassa fica à disposição após a venda dos animais e limpeza do galpão (BONTURI e DIKJ, 2012). Na Figura 4 é apresentado um modelo esquemático desse biodigestor.

Figura 4: Modelo de biodigestor batelada



FONTE: Adaptado de DEGANUTTI *et al.*, 2002

SIGLAS:

D_i - diâmetro interno do biodigestor;

D_s - diâmetro interno da parede superior;

D_g - diâmetro do gasômetro

H - altura do nível do substrato;

h_1 - altura ociosa do gasômetro;

h_2 - altura útil do gasômetro;

h_3 - altura útil para deslocamento do gasômetro;

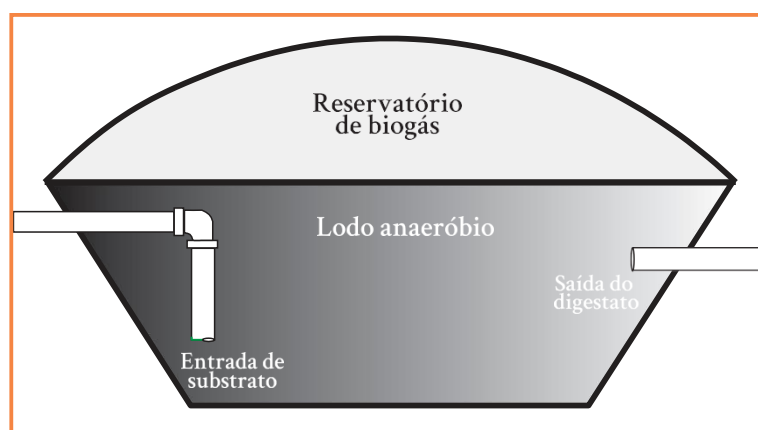
b - altura da parede do biodigestor acima do nível do substrato;

c - altura do gasômetro acima da parede do biodigestor.

3.6.1.4 Modelo Tubular ou lagoa coberta

Consiste em um tanque escavado no solo de base retangular e seção transversal trapezoidal com inclinação do talude variável de acordo com as características do solo e impermeabilizado (Figura 5). Geralmente a câmara de fermentação e o gasômetro são construídos com material geossintético (PVC, PEAD, etc.), que possui baixa permeabilidade a fluidos e gases e características adequadas para armazenar biogás. Esse modelo de biodigestor tem sido amplamente empregado no meio rural para tratamento dos efluentes da produção animal devido à sua facilidade de construção, operação e à grande disponibilidade de área no meio rural, pois necessitam de grandes áreas para sua implantação, devido ao elevado TRH, geralmente entre 30 a 50 dias (KUNZ *et al.* 2019).

Figura 5: Modelo de biodigestor tubular



Fonte: Kunz *et al.* 2019.

De acordo com Kunz *et al.* (2019), a inexistência de sistema de aquecimento nesse modelo de biodigestor acarreta variação da temperatura da biomassa, sendo que sua temperatura variará em função da temperatura ambiente. Isso tem consequências diretas na capacidade de produção de biogás, principalmente em regiões de inverno rigoroso.

Os modelos de biodigestor tubular são utilizados para estabilização de substratos com baixa concentração de sólidos, até cerca de 3% ST, e com baixa carga orgânica volumétrica (COV), entre 0,3 a 0,5 kg de SV por m³ de reator por dia (KUNZ *et al.* 2019).

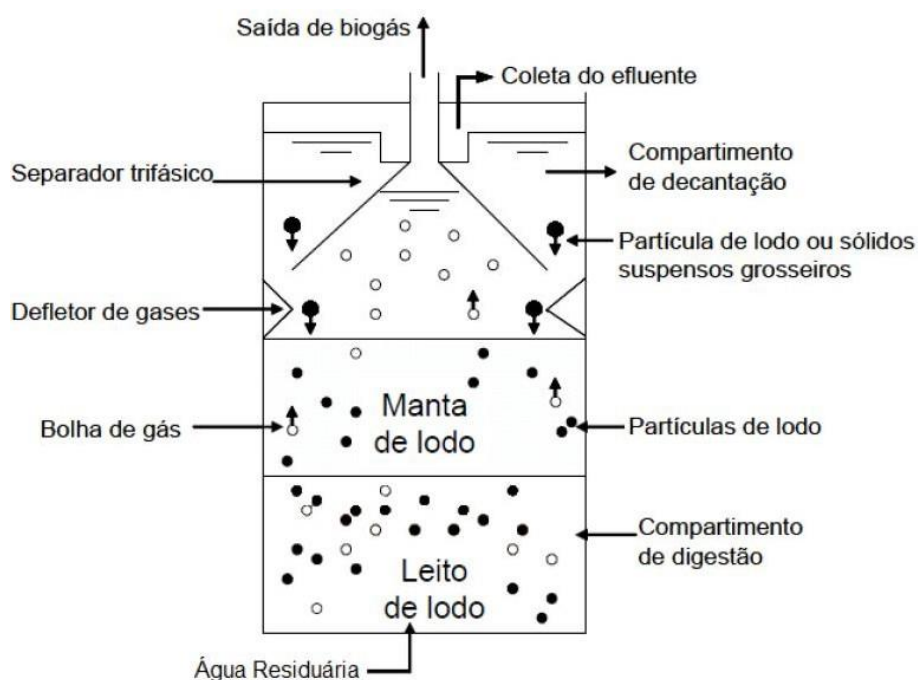
3.6.1.5 Modelo de Fluxo Ascendente - UASB

O modelo UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) tem como característica o fluxo ascendente do afluente que atravessa uma manta de lodo até o topo do reator, onde há um separador trifásico, para separar líquidos, materiais sólidos e o biogás (Figura 6). Esses reatores são capazes de reter elevadas quantidades de biomassa, pois apresentam características hidrodinâmicas favoráveis à formação de grânulos, possibilitando elevado tempo de retenção celular, o que permite dissociar o TRH do tempo de retenção de sólidos. Apresentam grande atividade microbiana, mesmo com a aplicação de baixos TRH (CHERNICHARO, 2016).

Os reatores UASB possuem uma alta capacidade de retenção de biomassa, o que permite trabalhar com baixo TRH, variando de 4 a 72 horas. Possuem estabilidade em situações de variações das características do afluente e suportam alta COV, especialmente em condições em que a matéria orgânica está solubilizada. O afluente do reator UASB deve apresentar baixa concentração de ST ($ST < 2\%$), e, para ser utilizado no tratamento de efluentes da produção animal, muitas vezes é necessário um pré-tratamento (KUNZ *et al*, 2019).

Os reatores UASB apresentam baixo custo de implantação, operação e manutenção, pequena produção de lodo bem como requerem pequenas áreas para sua construção, geram digestato e biogás – o que os torna atrativos para as agroindústrias e pequenos produtores rurais (KALOGO e VERSTRAETE, 1999). Mas no caso da utilização de substrato proveniente de animais e esgotos humanos, o efluente não deve ser utilizado diretamente na agricultura, pois exige cuidados com relação a patógenos que podem contaminar o meio ambiente e os consumidores dos produtos. O efluente do UASB exige um pós-tratamento para se adequar às características de qualidade sanitária.

Figura 6 - Esquema de funcionamento do UASB



Fonte: Adaptado de Chernicharo, (2016)

3.6.1.6 Modelo CSTR

De acordo com Kunz *et al.* (2019) a sigla CSTR vem do inglês Continuous Stirred Tank Reactor e significa reator com tanque agitado continuamente. Esses modelos suportam elevadas COV de 1 a 4 kg SV. m⁻³.d⁻¹, sendo o substrato em digestão continuamente homogeneizados por um sistema de agitação. Ainda, de acordo com Kunz *et al.* (2019), esses biodigestores são os mais empregados em plantas de biogás na União Europeia quando se trata de codigestão e concentração de ST elevada (em torno de 10%).

Nesses modelos de biodigestores considera-se que o TRH e o tempo de retenção de sólidos são iguais, pois se presume que não há acúmulo de lodo no reator. Normalmente o TRH mínimo nesses reatores é de 15 e 20 dias, variando em função do tipo de substrato a ser digerido. O sistema de agitação eleva o investimento inicial de implantação e o custo de operação do CSTR, mas melhora sua eficiência através do auxílio na transferência de calor e na manutenção dos sólidos em suspensão, aumentando assim o contato entre a matéria orgânica e os micro-organismos. A presença de um sistema de aquecimento para a manutenção da temperatura constante propicia maior capacidade de produção de biogás, pois proporciona a estabilização do reator e a manutenção da população de microrganismos, mas encarece os custos de implantação e operação do reator.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Local de realização do experimento

O experimento foi conduzido no Laboratório do Setor de Pequenos Animais (Latitude: 18° 42' 38"S, Longitude: 44° 53' 80"O e Altitude: 675 m), situado no Campo Experimental de Pitangui (CEPI) da EPAMIG, localizado no município de Pitangui, MG. A classificação climática de Köppen para o local é Cwa – clima temperado úmido com inverno seco e verão quente e chuvoso – cuja temperatura do mês mais quente é sempre superior a 22° C e a temperatura do mês mais frio é sempre inferior a 18 °C, sendo a média anual de temperatura de 20,5 °C.

Durante a condução do experimento, foi monitorada a temperatura máxima, mínima e ambiente no interior do laboratório, sendo as temperaturas mínima e máxima de 20,3 e 29,9 ° C, respectivamente. A amplitude térmica máxima diária registrada no laboratório foi de 7,2 °C.

4.2 Caracterização dos rebanhos fornecedores de dejetos

Os dejetos de ovinos utilizados no experimento foram provenientes de rebanho de ovinos mestiços das raças Texel, Doper e Santa Inês (Figura 7) do CEPI da EPAMIG, cuja composição é apresentada na Tabela 2 (Anexo A). A sua alimentação é a pasto (*Brachiaria decumbens*) com suplementação de 200 g/animal x dia (70% de milho e 30% de farelo de soja). A coleta dos dejetos utilizados no experimento foi realizada em dezembro de 2020.

Tabela 2 - Composição do rebanho ovino

Classificação	Quantidade
Cordeiro até 2 meses	03
Cordeira até 2 meses	01
Cordeiro de 2 a 8 meses	08
Cordeira de 2 a 8 meses	07
Ovelhas em lactação (24 meses)	01
Ovelhas solteiras (de 8 a 48 meses)	26
Reprodutor (24 meses)	01
Total	47

Fonte: Autor (2020)

Já os dejetos de bovinos de corte utilizados no experimento são provenientes do rebanho de bovinos mestiços das raças Nelore, Holandês e Brama (Figura 8) do CEPI da EPAMIG, cuja composição é apresentada na Tabela 3 (Anexo B). A sua alimentação é a pasto (*Brachiaria decumbens*) com suplementação mineral à vontade. Os dejetos utilizados no experimento foram coletados em dezembro de 2020.

Tabela 3 - Composição do rebanho bovino

Classificação	Quantidade
Bezerros até 1 ano	31
Bezerras até 1 ano	28
Novilhos de 1 a 2 anos	19
Novilhos de 2 a 3 anos	04
Novilhos com mais de 3 anos	07
Novilhas de 1 a 2 anos	23
Novilhas de 2 a 3 anos	23
Novilhas com mais de 3 anos	04
Vacas em lactação (3 a 8 anos)	14
Vacas solteiras (3 a 8 anos)	4
Total	157

Fonte: Autor (2020)

Figura 7: Rebanho ovino do CEPI



Fonte: Autor, 2020.

Figura 8: Rebanho bovino do CEPI



Fonte: Autor, 2020.

4.3 Caracterização da composição dos dejetos de ovinos e bovinos mestiços

As amostras foram enviadas para a caracterização físico-química dos dejetos de ovino e bovino ao Akvos Laboratório Ambiental e de Alimentos, situado na Rua Carlos Frederico Campos, 20, Belo Horizonte, MG, para a determinação dos teores de ST, SV, pH, Condutividade Elétrica (CE), N, P e K. Todas as análises foram realizadas seguindo os métodos, padrões e normas do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2005).

4.4 Metodologia de coleta de amostra de dejetos e preparo dos substratos

Os dejetos de ovinos e bovinos foram coletados “*in natura*”, com auxílio de pá e balde, no Setor de Ovinocultura e Bovinocultura do CEPI, imediatamente antes do início da partida dos biodigestores, a fim de evitar fermentação excessiva e perdas na geração de biogás. Foram coletadas amostras de dejetos em vários pontos, de animais machos e fêmeas e de todas as idades.

Os dejetos de ovinos que se apresentavam em forma de pequenas cápsulas cilíndricas foram desfeitos mecanicamente com auxílio de bastão e balde, objetivando o aumento da superfície de contato entre micro-organismo e substrato. Após, foi determinada a concentração de ST dos dejetos de ovinos e bovinos, seguindo o método proposto APHA, (2005), cujos resultados foram de 23,99 % e 16,60 %, para ovinos e bovinos, respectivamente. Posteriormente foram determinadas as quantidades de dejetos de ovinos, bovinos e água a serem adicionados aos biodigestores para se obter concentração do substrato afluente com teores de ST em torno de 9%, conforme metodologia descrita e utilizada nos trabalhos de Otaraku e Ogedengbe, (2013) e Salam *et al.* (2015).

Na Tabela 4 são apresentadas as quantidades de água, de dejetos de bovinos e dejetos de ovinos utilizados para se obter o substrato afluente dos biodigestores. A água utilizada para diluição dos dejetos foi proveniente de poço artesiano situado no CEPI.

Tabela 4: Quantidades de dejetos de ovinos, dejetos de bovinos, água e ST adicionados em cada tratamento nos biodigestores

Tratamento	Dejetos de ovinos (g)	Dejetos de bovinos (g)	Água (ml)	Volume total (ml)	ST (mg/l)
T1	862,86	0,00	1.353,34	2.300,00	98.130,00
T2	647,14	311,75	1.341,11	2.300,00	105.0408,00
T3	431,43	623,49	1.245,08	2.300,00	86.270,00
T4	215,71	935,24	1.149,04	2.300,00	87.660,00
T5	0,00	1246,99	2.093,00	2.300,00	83.780,00

Fonte: Autor 2021

4.5 Caracterização dos biodigestores utilizados

Foram utilizados 15 protótipos de biodigestores, modelo indiano, de Policloreto de Vinila (PVC) (Figura 9), construídos conforme metodologias utilizadas nos trabalhos de Junqueira (2011), Cestonaro (2013) e Soares (2018), com volume da câmara de digestão de 2,5 l (figura 10), os quais foram dispostos sobre bancada de laboratório, em condições de temperatura ambiente, abrigados de luz solar e chuvas.

Foi considerado o volume útil da câmara de digestão de 2,30 l, usando um *headspace* (espaço vazio no topo da câmara de digestão) de 0,20 l. Optou-se por utilizar biodigestores, modelo indiano, pelas suas características de fácil construção e de operação que os tornam propícios para serem utilizados por agricultores familiares.

A câmara de fermentação consistiu em um tubo de PVC, com diâmetro de 100 mm fechado por tampão de vedação (tipo *cap*) de PVC, e capacidade de 0,0023 m³ (Figura 11). O gasômetro também foi montado com tubo e tampão de vedação (tipo *cap*) de PVC com diâmetro de 150 mm e volume total de 0,0053 m³. No tampão foi conectada uma válvula de três vias “*three way*” (material cirúrgico para injeção de soro) para a coleta e análise do biogás e uma mangueira de silicone conectada a um manômetro de coluna d’água em “U”, para medir a pressão do biogás (figura 11).

A câmara de digestão foi inserida no interior do gasômetro. O sistema câmara de fermentação e gasômetro foi inserido no interior de um tubo de contenção com diâmetro de 200 mm preenchido com água (“selo de hídrico”), com a finalidade de suporte para o gasômetro flutuar, proporcionar condições anaeróbias e armazenar o biogás produzido (Figura 12).

O gasômetro operou com sistema flutuante, à medida que ocorria a produção de biogás, o gasômetro se deslocava na direção vertical em sentido ascendente. Esse deslocamento foi medido por uma régua graduada fixada ao gasômetro, a qual possibilitou a determinação do volume de biogás produzido multiplicando a área da seção transversal do gasômetro ($0,0177 \text{ m}^2$) pelo deslocamento vertical do mesmo.

Figura 9: Biodigestores e manômetro de coluna d'água



Fonte: Autor, 2020.

Figura 10: Câmara de digestão



Fonte: Autor, 2020.

Figura 11: Gasômetro e manômetro de coluna d'água



Fonte: Autor, 2021.

Figura 12: Câmara de contenção



Fonte: Autor, 2021.

4.6 Delineamento Experimental

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, com 5 tratamentos e 3 repetições, todos os parâmetros foram submetidos à Análise de Variância (ANOVA) e apresentaram normalidade conforme o teste de Shapiro-Wilk. As comparações

das médias dos tratamentos foram feitas pelo teste de Tukey a 5%. Ambas as análises foram feitas utilizando o Programa Estatístico Sisvar.

A Tabela 5 contém as proporções de dejetos de ovinos e bovinos utilizado em cada tratamento.

Tabela 5: Proporções de dejetos de ovinos e bovinos utilizados nos tratamentos

Tratamentos	Dejeto de ovino (%)	Dejeto de bovino (%)
Tratamento 1 (T1)	100	0
Tratamento 2 (T2)	75	25
Tratamento 3 (T3)	50	50
Tratamento 4 (T4)	25	75
Tratamento 5 (T5)	0	100

Fonte: Autor 2021

4.7 Determinação da proporção de inclusão de dejetos de bovinos em dejetos de ovinos que proporciona a maior eficiência no processo da codigestão anaeróbia

No momento da carga dos biodigestores, foram retiradas amostras dos cinco tratamentos e enviadas ao Akvos Laboratório Ambiental e de Alimentos para determinação de ST, SV, DBO, pH, CE, N, P e K. Ao final do processo de digestão anaeróbia, 154 dias após o carregamento, no momento da descarga dos biodigestores, foram retiradas amostras dos digestatos dos cinco tratamentos e das três repetições e enviadas ao laboratório para a determinação das características físicas, químicas e biológicas do digestato.

De posse dos resultados, foi calculada a eficiência da remoção dos ST, SV e DBO em todos os tratamentos utilizando a Equação 1, proposta por Chernicharo (2016):

$$E = \frac{E_0 - E_1}{E_0} \times 100 \quad (1)$$

Em que:

E = Eficiência de remoção (%);

E₀ = Concentração afluente do dejeto (mg/l)

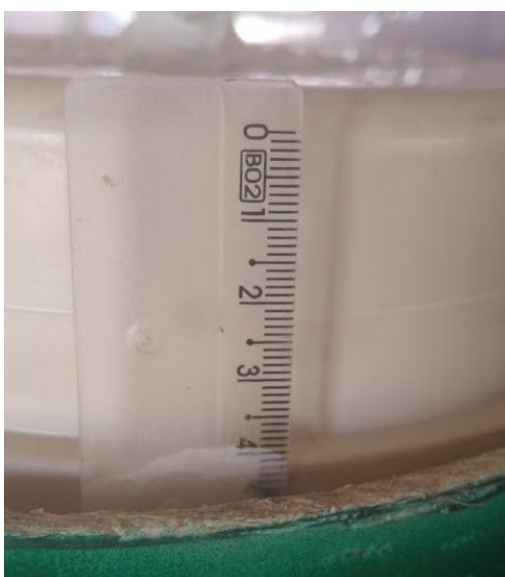
E₁ = Concentração efluente do dejeto (mg/l).

4.8 Determinação do potencial de produção de biogás dos dejetos de ovinos e bovinos

Para a determinação do volume de biogás produzido foram realizadas as leituras da temperatura e da pressão do biogás, e do deslocamento vertical do gasômetro, através da régua graduada fixada ao mesmo (Figura 13). A pressão do biogás foi medida com manômetro de coluna d'água em "U", em milímetro de coluna d'água (mmca). O tubo em "U" com o líquido manométrico (água) foi fixado a uma folha de papel milimetrado, o qual possibilitou obter o valor da pressão do biogás diretamente na folha, pela diferença da altura do líquido manométrico nas colunas do tubo em "U" (Figura 14). A temperatura do biogás foi determinada através de termômetro de mercúrio fixado ao gasômetro, o bulbo de mercúrio ficou em contato com o biogás e a temperatura foi determinada diretamente em sua haste graduada (Figura 16).

As temperaturas mínima, máxima e ambiente foram monitoradas através de um termômetro digital, marca AKSO, modelo AK23, com resolução de 0.1 °C e exatidão ± 1 °C (Figura 15). As temperaturas mínima, máxima e ambiente, o volume de biogás produzido, a temperatura e a pressão do biogás foram registrados três vezes na semana, às segundas-feiras, quartas-feiras e sextas-feiras, às 11:00 h. Após cada leitura, o gasômetro foi zerado através do registro de descarga (válvula de três vias).

Figura 13: Régua fixada ao gasômetro



Fonte: Autor, 2021.

Figura 14: Termômetro em "U" com líquido manométrico



Fonte: Autor, 2021.

Figura 15: Termômetro de mínima e máxima



Fonte: Autor, 2021.

Figura 16: Termômetro de mercúrio fixado ao gasômetro



Fonte: Autor, 2021.

O volume de biogás produzido foi determinado pelo produto do deslocamento vertical do gasômetro pela sua área da seção transversal interna ($0,0177\text{m}^2$). O volume de biogás produzido foi corrigido para as condições de 1 atm e 20°C conforme metodologia descrita por Caetano (1985), em que, pelo fator de compressibilidade, o biogás apresenta comportamento próximo ao ideal. Para correção do volume de biogás foi utilizada a Equação 2 resultante da combinação das leis de Boyle e Gay-Lussac, conforme descrito por Santos (2007).

$$\frac{V_0 \times P_0}{T_0} = \frac{V_1 \times P_1}{T_1} \quad (2)$$

Em que:

V_0 = volume de biogás corrigido, m^3 ;

P_0 = pressão corrigida do biogás, 10.322,72 mm de H_2O ;

T_0 = temperatura corrigida do biogás, em 293,15 K;

V_1 = volume do gás no gasômetro, m^3 ;

P_1 = pressão do biogás no instante da leitura, mm de H_2O ; e

T_1 = temperatura do biogás, em K, no instante da leitura.

Para o cálculo da pressão do biogás no instante da leitura (P_1), considerou-se o valor da pressão atmosférica de Pitangui-MG igual a 92,9 hPa (9.473,42mm H_2O), valor obtido no site Cidade Brasil (2021).

A determinação do potencial de produção de biogás foi feita utilizando os dados de produção de biogás, das quantidades de substrato, de ST, SV e DBO adicionados e reduzidos nos biodigestores. Os valores foram expressos em m³ de biogás por l de substrato e por kg de ST, SV e DBO.

4.9 Comprovação da presença de metano no biogás

Para a comprovação da presença de CH₄ no biogás, utilizou-se um aparelho para monitorar a qualidade do ar, marca JLDG, modelo JD-3002, que detecta presença de CH₄ cuja concentração seja superior a 0,06 mg/m³.

Também foi feito o teste de queima do biogás, que consistiu na verificação da combustão ou não do biogás proveniente dos biodigestores, para detectar a presença ou não de metano em quantidade suficiente para manter uma chama acesa. O teste foi realizado com um bico de Bunsen acoplado, através de uma mangueira de borracha, a uma via da válvula de três vias fixada ao gasômetro do biodigestor. Com a presença de chama contínua, confirma-se a queima, o que significa que há uma quantidade de metano no mínimo de 50% do volume do biogás, conforme metodologia utilizada por Xavier e Lucas Júnior (2010) e Sagula *et. al.* (2017).

4.10 Elaboração de circular técnica sobre o efeito da inclusão de diferentes proporções de dejetos de bovinos em dejetos de ovinos no processo da codigestão anaeróbia

De posse dos resultados do experimento, foi produzida uma circular técnica (publicação seriada, não periódica, de divulgação externa ou interna, que apresenta um conjunto de informações, recomendações e alertas sobre a agropecuária) seguindo as normas de publicação da EPAMIG.

A circular técnica será disponibilizada para produtores rurais, estudantes, profissionais e pessoas que tenham interesse na área de tratamento e reutilização de resíduos agropecuários no site da EPAMIG. Qualquer pessoa que tem acesso à internet poderá ter acesso ao documento, podendo a mesmo ser disponibilizado em meio eletrônico e impresso.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização da composição dos dejetos de ovinos e bovinos mestiços

Na Tabela 6 são apresentadas as características físico-químicas dos dejetos de bovinos mestiços (Anexo C), alimentados a pasto (*Brachiaria decumbens*) com suplementação mineral sem restrição de quantidade (à vontade), em comparação com os resultados encontrados por outros autores em estudos similares.

Tabela 6: Características físico-químicas do dejetos de bovinos

Ensaio	Unidade	Resultados	Resultados obtidos por outros autores		
			Sbizzaro, 2013	Cestonaro, 2013	Junqueira 2011
ST	%	16,50	20,91	-	20,49
SV	%	13,10	16,40	-	18,13
Condutividade elétrica a 25 °C	µS/cm	2.060	83	567	-
pH	-	7,20	8,97	8,97	-
N total	mg/kg	1.203,08	18.100,00	27.700,00	2.200,00*
P total	mgP/kg	451,68	-	6.540,00	1.450,00*
K	mg/kg	7.363,70	-	38.250,00	2.150,00*

ST = sólidos totais; SV = sólidos totais voláteis; pH = potencial de hidrogênio; N total= nitrogênio total; P total = fósforo total; K = potássio.

Fonte: Autor (2021) com base nos resultados das análises realizadas pelo Laboratório AKVOS.

* Nota do Autor: Resultados com base em mg/kg de Matéria Seca (MS).

Os dejetos caracterizados por Junqueira (2011) foram provenientes de novilhas nelores, confinadas na fase de terminação alimentadas com dietas nas proporções de 50% de volumoso e 50% de concentrado. Já os dejetos caracterizados por Cestonaro (2013) foram provenientes de bovinos em sistema de confinamento alimentados com dietas nas proporções de 60% de volumoso e 40% de concentrado; e os caracterizados por Sbizzaro (2013) foram provenientes de bovinos criados no sistema semi-intensivo.

Desta forma, nota-se que os valores de ST e SV estão abaixo dos encontrados por Sbizzaro (2013) e Junqueira (2011), mas como dietas alimentares, manejo e raça dos bovinos são diferentes é de se esperar variabilidade dos resultados, mas os valores obtidos são

semelhantes aos valores médios alcançados na literatura. Os teores de N e P também se encontram abaixo dos encontrados pelos outros autores, devido, possivelmente a diferenças entre as dietas alimentares.

Na Tabela 7 são apresentadas as características físico-químicas dos dejetos de ovinos mestiços (Anexo D), alimentados a pasto (*Brachiaria decumbens*) com suplementação de 200 g/animal x dia (70% de milho e 30% de farelo de soja), em comparação com os resultados encontrados por outros autores em estudos similares.

Tabela 7: Características físico-químicas do dejetos de ovinos

Ensaio	Unidade	Resultados	Resultados obtidos por outros autores		
			Maciel (2018)	Sbizzaro (2013)	Araújo (2012)
ST	%	21,80	19,00	76,44	53,00
SV	%	13,10	15,05	45,17	46,11
Condutividade elétrica a 25 °C	µS/cm	4.310	-	3.590	-
pH	-	7,90	-	8,98	-
N total	mg/kg	1.758,00	22.500,00	22.300,00	-
P total	mgP/kg	1.712,61	-	-	-
K	mg/kg	22.298,10	-	-	-

ST = sólidos totais; SV = sólidos totais voláteis; pH = potencial de hidrogênio; N total= nitrogênio total; P total = fósforo total; K = potássio.

Fonte: Autor (2021) com base nos resultados das análises realizadas pelo Laboratório AKVOS.

Os resultados (tabela 7) são similares quanto aos valores de ST e SV encontrado por Maciel (2018), mas nota-se uma grande discrepância com os resultados encontrados por Araújo (2012) e Sbizzaro (2013), provavelmente porque esses autores não utilizaram dejetos recém-excretados, os quais perderam umidade para o ambiente aumentando seu teor de ST e SV. Segundo Araújo (2012), dados sobre a caracterização de dejetos gerados por ovinos na literatura são escassos e variáveis, sobretudo quando relacionados com o nível de produção e a quantidade e qualidade da alimentação fornecida.

5.2 Condições do meio reacional

5.2.1 Eficiência de remoção e reduções de sólidos totais, sólidos voláteis e demanda bioquímica de oxigênio

Na Tabela 8 é apresentada a eficiência de remoção de ST, SV e DBO. As eficiências de remoções dos ST, SV e DBO estão diretamente relacionadas ao uso dos compostos orgânicos pelos microrganismos na degradação da matéria orgânica, para a produção de biogás (ORRICO *et al.* 2016). As eficiências de remoções de ST variaram de 14,25 a 35,95%, com média de remoção de 27,46%, e não apresentaram diferenças estatísticas entre si, devido ao alto valor do Coeficiente de Variação (CV) de 39,05%. Já as remoções de SV variaram de 18,33 a 41,87%, com valor de redução médio de 32,02% e CV de 30,03%, também não apresentaram diferenças estatísticas entre si.

Tabela 8: Eficiência de remoção de ST, SV e DBO nos 5 tratamentos.

Tratamentos	Ef. R. ST (%)	Ef. R. SV (%)	Ef. R. DBO (%)
T1	35,10 a	41,87 a	21,64 ac
T2	30,83 a	39,09 a	11,30 ab
T3	14,25 a	18,33 a	2,42 a
T4	21,14 a	22,00 a	28,16 bc
T5	35,95 a	38,80 a	17,82 bc

Ef. R.. ST: Eficiência de remoção de ST, Ef. R. SV: Eficiência remoção de SV, Ef. R. DBO: Eficiência de remoção de DBO.

Valores médios seguidos de letras iguais na mesma coluna não diferem entre si pelo teste de Tuckey a um nível de probabilidade de erro de 5% (ANOVA, teste de Tuckey $p < 0,05$).

Fonte: Autor (2021) com base nos resultados das análises realizadas pelo Laboratório AKVOS.

A eficiência de remoção da DBO está abaixo do valor encontrado na literatura, cujo valor médio se encontra entre 50 a 70%. Neste trabalho obteve-se uma remoção média de 16,27%.

Esse baixo valor de remoção de DBO foi provavelmente devido à grande variabilidade dos substratos afluentes e sua falta de padronização, através de seu tritramento e peneiramento. Segundo Orrico (2007) a separação de sólidos é uma alternativa eficiente de pré-tratamento, propiciando aumento da produção de biogás, consistindo na separação das frações mais degradáveis das menos degradáveis (celulose, hemicelulose e lignina).

Após o processo de digestão anaeróbia de 22 semanas ou 154 dias houve redução dos teores de ST, SV e DBO em todos os tratamentos, evidenciando a eficiência do processo de conversão da matéria carbonácea em biogás (Tabela 9).

Em termos de redução dos valores de SV, em mg/l, nenhum tratamento diferiu do T5 (100% DB) que apresentou reduções de 26.730,00 mg/l. Os tratamentos que apresentaram maiores reduções foram os T1 (100% DO) e T2 (75% DO e 25% DB) e os que apresentaram as menores reduções foram T3 (50% DO e 50% DB) e T4 (25% DO e 75% DB). O tratamento T4 não teve reduções significativas de SV em relação aos tratamentos T3 e T1.

Orrico *et al.* (2016) avaliou a codigestão dos dejetos de bovinos leiteiros e óleo de descarte e observou reduções nos teores de ST e SV de 47,53 e 51,28%, respectivamente, valores superiores ao do presente trabalho, provavelmente devido à adição do óleo como fonte proteica no processo de digestão anaeróbia.

Rabelo (2018) estudou a codigestão do substrato esterco bovino leiteiro e cossustratos palha de milho e palha de feijão, para produção de biogás em biodigestores de bancada do tipo batelada. O autor padronizou o teor de ST afluentes entre 7% e 9% e obteve reduções de ST e SV superiores a 30% com variação média de 17,3 e 17,2% nos valores de ST e SV, respectivamente. O teor de ST afluentes e reduções de ST e SV encontrados por Rabelo (2018) se assemelham ao presente trabalho, mas as variações médias de ST e SV em seu trabalho foram menores.

Tabela 9: Concentrações médias de ST, SV e DBO afluente e reduções e porcentagem de reduções de ST, SV e DBO nos 5 tratamentos.

Tratamentos	STa (mg/l)	R. ST (mg/l)	R. ST (%)	SVa (mg/l)	R. SV (mg/l)	R. SV (%)	DBOa (mg/l)	R. DBO (mg/l)	R. DBO (%)
CV (%)		32,55	39,05		28,15	30,03		33,86	34,03
T1	98.130	34.449,00 a	35,10 a	79.200	33.160,00 bc	41,87 a	14.250	3.083,33 bc	21,64 bc
T2	105.040	32.388,00 a	30,83 a	85.750	33.518,67 c	39,09 a	14.750	1.666,67 ab	11,30 ab
T3	86.270	12.297,00 a	14,25 a	69.260	12.695,00 a	18,33 a	13.750	333,33 a	2,42 a
T4	87.660	18.534,67 a	21,14 a	68.600	15.096,00 ab	22,01 a	14.500	4.083,33 c	28,16 c
T5	83.780	30.116,33 a	35,95 a	68.900	26.730,00 abc	38,80 a	14.500	2.583,33 bc	17,82 bc

STa: sólidos totais afluentes; R. ST: redução de sólidos totais; SVa: sólidos voláteis afluentes; R. SV: redução de sólidos voláteis; DBOa: demanda bioquímica de oxigênio afluente; R. DBO: Redução demanda bioquímica de oxigênio.

CV: Coeficiente de variação.

Valores médios seguidos de letras iguais na mesma coluna não diferem entre si pelo teste de Tuckey a um nível de probabilidade de erro de 5% (ANOVA, teste de Tuckey $p < 0,05$).

Fonte: Autor (2021) com base nos resultados das análises realizadas pelo Laboratório AKVOS.

5.2.2 Condutividade elétrica, pH e nutrientes

Os valores de pH dos tratamentos encontram-se na Tabela 10, onde se pode notar que os valores afluentes favoreceram o processo de digestão anaeróbia, pois apresentaram pH inicial (afluente) dentro da faixa de melhor desempenho das arqueias metanogênicas, entre 6-8,0 (CHERNICHARO, 2016). Os valores de pH apresentaram pequeno aumento em todos os tratamentos nos substratos efluentes – o que significa que não houve efeito de acidificação dos reatores, ou seja, no acúmulo de ácidos voláteis ao meio reacional. Tal fato pode ser explicado pela possível produção de substâncias alcalinizantes, como, por exemplo, bicarbonatos, responsáveis pela neutralização do meio reacional.

Matos *et al.* (2017) observaram aumentos nos valores de pH ao término do processo de digestão anaeróbia, em seu experimento com protótipos de biodigestores descontínuos de bancada alimentados com dejetos bovinos obtidos de dois sistemas de produção orgânica e convencional. Os autores atribuíram esse aumento ao processo de transformação dos possíveis ácidos contidos no afluente em produtos gasosos. Geiza (2020) também encontrou comportamento similar (aumento de pH do substrato efluente em relação ao afluente) em seu estudo sobre produção de metano no biogás frente a diferentes diluições do dejetos bovino e à influência nutricional ao final do processo de digestão anaeróbia.

Os valores de CE reduziram aproximadamente em 50 % em todos os tratamentos. Matos (2016) em seu estudo com dejetos de bovinos em diferentes sistemas de manejo também encontrou comportamento semelhante, onde foi constatada redução do pH.

Com relação aos nutrientes notam-se reduções consideráveis dos valores de N e P efluentes em relação aos valores afluentes, as quais são resultado do processo energético do consórcio microbiano em consequência do seu desenvolvimento e crescimento celular (CHERNICHARO, 2016).

Tabela 10: Condutividade elétrica, pH, concentração de N e P afluente e efluente nos 5 tratamentos.

Tratamentos	CEa ($\mu\text{S/cm}$)	CEe ($\mu\text{S/cm}$)	pHa	pHe	NTa (mgN/l)	NTe (mgN/l)	PTa (mgP/l)	PTe (mgP/l)
CV (%)		9,24		3,24		23,47		80,16
T1	12.650,00	6.410,00 b	7,2	8,03 b	6.261,65	507,81 ab	3.224,80	769,44 a
T2	14.590,00	6.103,00 b	7,2	8,20 b	2.138,30	620,83 b	6.534,85	736,11 a
T3	12.590,00	5.340,00 ab	7,0	8,00 b	2.230,98	544,83 ab	6.239,10	601,39 a
T4	10.310,00	4.756,67 a	7,0	7,87 ab	2.947,11	450,12 ab	1.174,94	851,43 a
T5	8.690,00	4.176,67 a	6,8	7,30 a	1.096,94	264,53 a	521,80	169,72 a

CEa: CE afluente; CEe: CE efluente; pHa: pH afluente; pHe: pH efluente; NTa: NT afluente; NTe: NT efluente; PTa: PT afluente; PTe: PT efluente; Ka: K afluente; Ke: k efluente.

CV: Coeficiente de variação.

Valores médios seguidos de letras iguais na mesma coluna não diferem entre si pelo teste de Tuckey a um nível de probabilidade de erro de 5% (ANOVA; teste de Tuckey $p < 0,05$).

Fonte: Autor (2021) com base nos resultados das análises realizadas pelo Laboratório AKVOS.

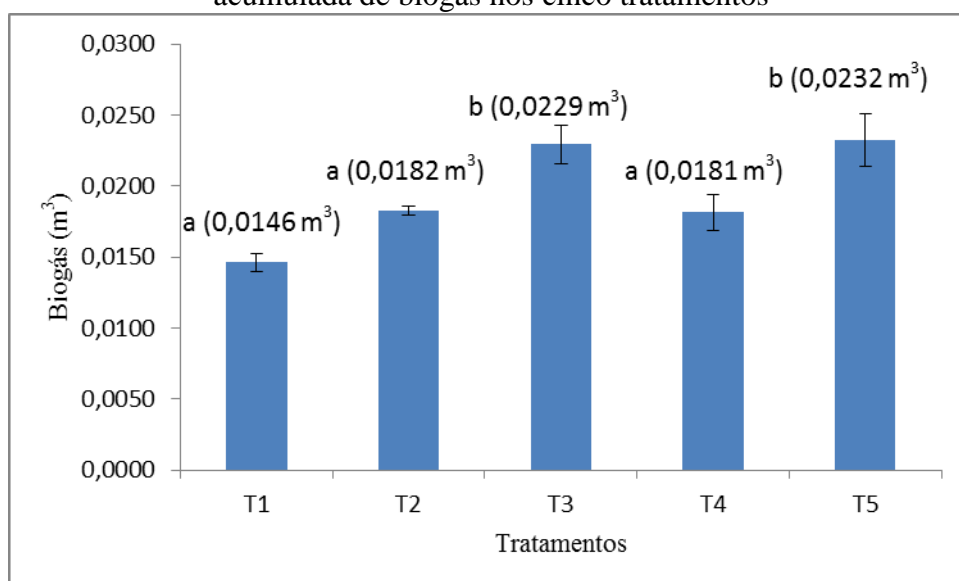
5.3 Produção de biogás

5.3.1 Produção acumulada e produção média diária de biogás

Na figura 17 são apresentadas as produções médias acumuladas de biogás, em m^3 . Nota-se que o T5 (100% DB) e o T3 (50% DO e 50% DB) apresentaram maiores produções de biogás, seguidos dos tratamentos T2 (75%DO e 25% DB), T4(25% DO e 75% DB) e T1 (100% DO). De acordo com esses dados, pode-se concluir que a eficiência do processo de digestão anaeróbia e a quantidade de biogás produzido por dejetos de ovinos são otimizados pela inclusão de dejetos de bovinos.

Nota-se que o tratamento T4, que possuiu maior teor de dejetos de bovinos em relação ao tratamento T3, T2 e T1, este apresentou produções de biogás estatisticamente iguais aos tratamentos T1 e T2. Esse fato se deve provavelmente à utilização de dejetos de ovinos recolhidos dias após a sua defecação – fato que favoreceu a perda de umidade pelos mesmos, com conseqüente endurecimento dos dejetos. Com maior resistência ao esmagamento, o dejetos de ovinos apresentou maiores partículas, as quais dificultam o contato dos micro-organismos com o substrato – o que interfere negativamente na conversão da matéria carbonácea em biogás e, conseqüentemente, diminui a produção desse. (VON SPERLIN, 2014).

Figura17: Produção média acumulada de biogás e desvio padrão da produção média acumulada de biogás nos cinco tratamentos



Letras iguais nas colunas não diferem entre pelo teste de Tuckey ($p < 0,05$)

Fonte: Autor (2021)

Em seus estudos sobre produção de biogás de dejetos de bovinos de leite, em sistema convencional e orgânico, Matos *et al.* (2017) observaram uma produção acumulada de 0,00618 m³ (6,18 litros) de biogás a partir da biodigestão dos dejetos de bovinos em sistema orgânico e de 0,01115 m³ (11,15 litros) de biogás para os dejetos de bovinos em sistema convencional de produção.

Matos *et al.* (2017) justificaram o resultado devido ao manejo diferenciado dos animais, principalmente a dieta, em cada sistema de produção, ocorrendo maior degradação de dejetos provenientes de dieta com maior proporção de concentrado, o que reflete diretamente sobre a produção e os potenciais de produção de biogás e metano. Os valores de produções acumuladas observado por Matos *et al.* (2017) são menores que os obtidos no presente estudo, embora a dieta alimentar e sistema de produção sejam similares, principalmente no sistema de produção orgânico.

Silva (2017) desenvolveu um trabalho sobre o potencial de produção de biogás e biofertilizante do processo de codigestão anaeróbia do substrato composto pela fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos (FORSU) e dejetos de gado bovino leiteiro (DGBL), utilizando biodigestores de bancada tipo batelada com capacidade de 2 litros, TRH de 181 dias e concentração de ST afluentes de 6%.

Em seu trabalho foram verificadas produções totais de 0,0330 m³, 0,0340 m³ e 0,0318 m³ de biogás utilizando substratos compostos por 100 e 0%, 90 e 10% e 80 e 20%, DGBL e FORSU, respectivamente. Os valores de produções totais observados por Silva (2017) são maiores aos observados no presente estudo, ocasionados provavelmente pela alimentação do gado bovino leiteiro que apresenta grande quantidade de concentrado (concentrado de milho, soja grão, farelo de trigo, farelo de algodão, núcleo de leite e fosfato bicálcico nas respectivas proporções 55%; 22%; 8%; 10%; 4%, 1% e volumoso de silagem de milho).

5.3.2 Produção de biogás entre os diferentes tratamentos

As curvas da produção média semanal de biogás e os seus desvios padrão podem ser verificados na Figura 18. Pode-se observar, em todos os tratamentos, que, na primeira semana, há um pico de produção de biogás, esse pico diminui até atingir valores nulos na segunda ou terceira semana. No tratamento T1, após o pico de produção, houve paralisação da produção até a oitava semana, e no T4 até a quinta semana. Nos tratamentos T2, T3 e T5, a

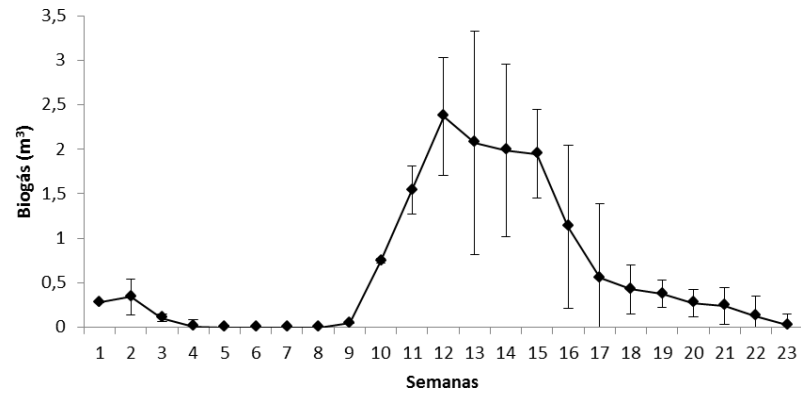
produção de biogás depois de tornar-se nula, inicia-se novamente na terceira ou quarta semana.

Silva (2017) encontrou condições semelhantes durante a fase de partida nos biodigestores de bancada utilizados em seu experimento, onde houve um pico de produção nos primeiros 10 dias. Após os 10 dias iniciais, os biodigestores ficaram inativos por cerca de 25 dias e entre o 35º e 37º dias voltaram a produzir até o final do experimento.

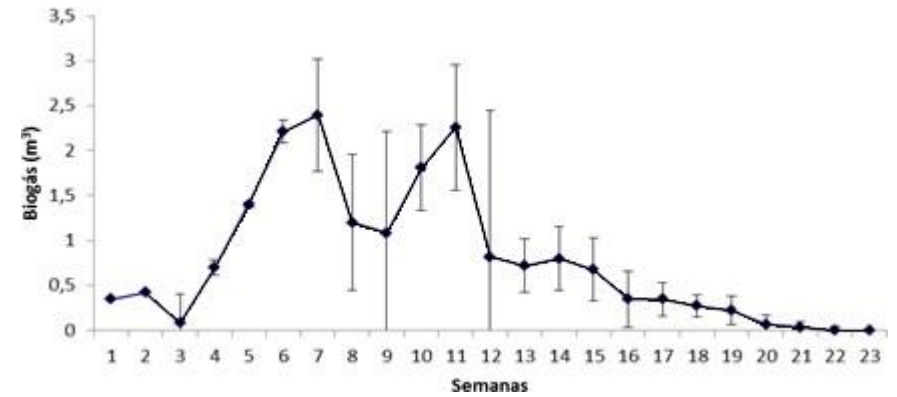
As curvas da produção média semanal de biogás do experimento se assemelham à curva média semanal de produção de biogás, em m³, obtida a partir da biodigestão anaeróbica de dejetos de bovinos de leite, sob sistema convencional de produção, encontrada por Matos (2016), em que a produção de biogás inicia-se na primeira semana e é cessada na quarta semana a partir do carregamento do biodigestor e se inicia novamente a partir da quinta semana. Esse fato se deve provavelmente ao alto teor de celulose encontrado nos substratos utilizados em ambos os experimentos (devido à alimentação dos animais ser a base de pasto), pois a hidrólise desses materiais é lenta e essa fase limitou a velocidade global do processo de digestão.

Segundo Assunção (2020), o excesso de matéria orgânica nos substratos afluentes resulta em longos períodos de adaptação dos micro-organismos – o que acarreta em atraso significativo (cerca de dois meses) na produção efetiva de metano. A autora sustenta que a taxa diária de produção e a produção máxima de biogás são dependentes da biodegradabilidade da matéria orgânica utilizada. O tamanho, a concentração e a complexidade da matéria orgânica podem acarretar baixas taxas de produção diária de metano durante a fase inicial do processo, devido aos longos períodos de hidrólise da matéria orgânica – o que ocasiona, por consequência, consideráveis períodos de atraso na produção de metano. Como os substratos utilizados no experimento possuem alta concentração de celulose, que é um material de difícil biodegradação, houve atraso na produção e estabilização da produção de biogás.

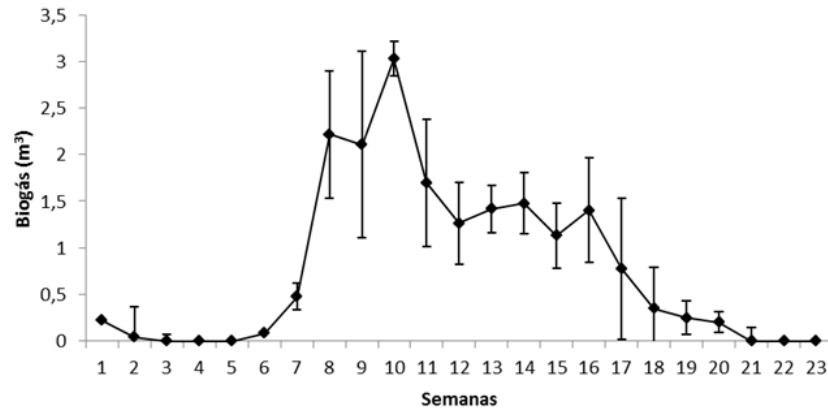
Figura 18: Produção média semanal de biogás e desvio padrão da produção média semanal, em que: (a) T1; (b) T2; (c) T3; (d) T4... *Continua*



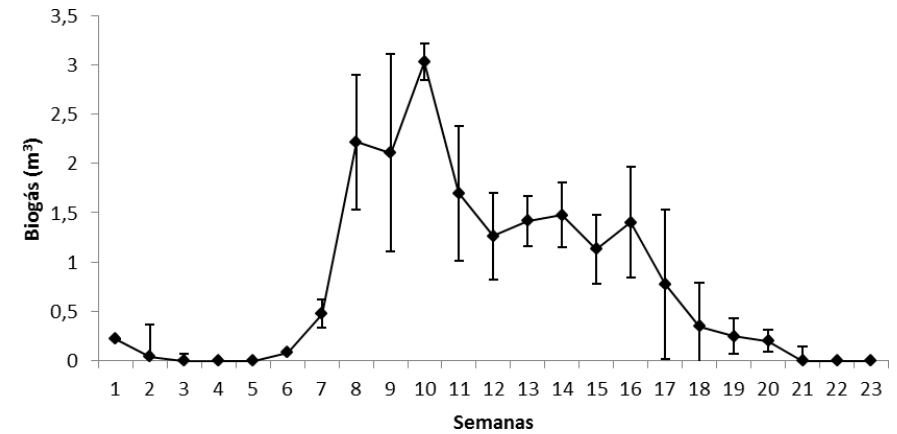
(a)



(b)

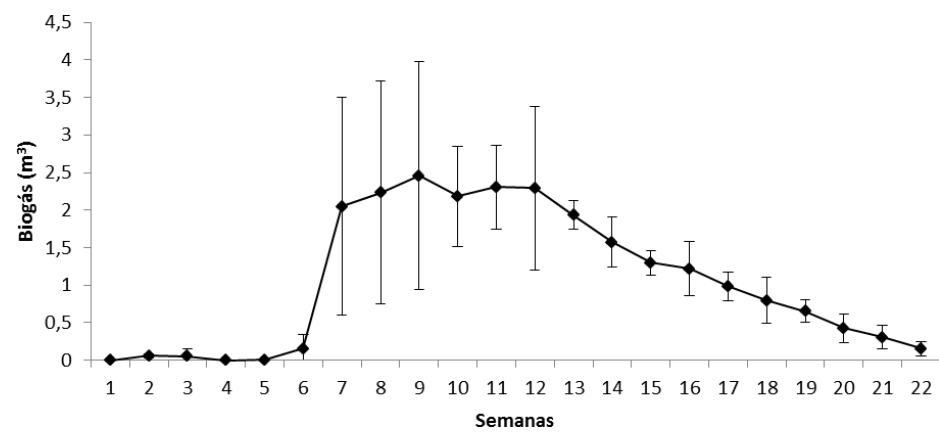


(c)



(d)

Continuação... Figura 18: Produção média semanal de biogás, em que: (e) T5.



(e)

Fonte: Autor,2021

5.3.3 Potencial de produção de biogás

A Tabela 11 apresenta as produções médias de biogás, as produções médias de biogás em relação aos substratos adicionados em l/m^3 em relação aos ST, SV e DBO adicionados, em m^3/kg , e em relação aos ST, SV e DBO reduzidos, em m^3/kg .

O tratamento T5 apresentou maior potencial de produção de biogás por litro de substrato adicionado (concentração de ST de 9%), que foi de $0,0101 m^3/litro$ de substrato adicionado, seguido pelo tratamento T3. Ambos não apresentaram diferenças significativas em suas produções de biogás por litro de substrato adicionado. O tratamento T1, por sua vez, apresentou menor produção de biogás por litro de substrato adicionado ($0,0064 m^3/litro$ de substrato adicionado), seguido dos tratamentos T2 e T4, mas, ambos os tratamentos também não apresentaram diferenças significativas em suas produções de biogás por litro de substrato adicionado.

O estudo de Matos *et al.* (2017) sobre produção de biogás de dejetos de bovinos de leite apresentou um potencial de produção de $0,0040 m^3/kg$ de substrato e um potencial de produção de $0,0063 m^3/kg$ de substrato, nos sistemas convencional e orgânico, respectivamente, em 210 dias de experimento.

Amorim *et al.* (2004) utilizaram dejetos de cabras Saanen adultas como substratos para a digestão anaeróbia nas quatro estações do ano e verificaram uma produção média de $0,02 m^3$ de biogás/kg de substrato. Quadros *et al.* (2010), em trabalho sobre a digestão anaeróbia de dejetos de caprinos e ovinos, em biodigestor modelo Canadense, de alimentação contínua, atingiram uma produção média de biogás de $0,003 m^3/kg$ de substrato. O presente trabalho apresentou uma produção de $0,0064 m^3$ de biogás/kg de substrato, quando se utilizou apenas dejetos de ovinos para preparo do substrato.

O estudo de MATOS *et al.* (2017) sobre produção de biogás de dejetos de bovinos de leite apresentou um potencial de produção de $0,0758 m^3/kg$ de ST e $0,0484 m^3/kg$ de ST, nos sistemas convencional e orgânico, respectivamente, nos 210 dias de experimento. Esses valores são inferiores aos encontrados nesse trabalho para o potencial de produção de dejetos de bovinos por kg de ST adicionados, que foi de $0,1204 m^3/kg$ de ST adicionado.

Tabela 11: Produção média total de biogás, produção de biogás em relação aos substratos adicionados e em relação aos ST, SV e DBO adicionados e reduzidos nos 5 tratamentos.

Tratamentos	Produção média total (m ³)	Substrato adicionado (m ³ /l)	ST adicionado (m ³ /kg)	SV adicionado (m ³ /kg)	DBO adicionado (m ³ /kg)	ST reduzido (m ³ /kg)	SV reduzido (m ³ /kg)	DBO reduzido (m ³ /kg)
CV (%)	7,63	7,66	8,08	8,05	7,69	27,98	28,67	35,85
T1	0,0146 a	0,0064 a	0,0647 a	0,0802 a	0,0456 a	0,1883 a	0,1930 a	2,3163 ab
T2	0,0182 a	0,0079 a	0,0755 ab	0,0924 ab	0,5373 a	0,2473 a	0,2417 ab	5,4870 b
T3	0,0229 b	0,0100 b	0,1156 c	0,1440 c	0,7253 b	0,5810 b	0,6063 c	3,4533 ab
T4	0,0181 a	0,0079 a	0,0899 b	0,1149 b	0,5437 a	0,4493 ab	0,5487 bc	1,9753 a
T5	0,0232 b	0,0101 b	0,1204 c	0,1465 c	0,6958 b	0,3840 ab	0,4280 abc	3,9487 ab

CV: Coeficiente de variação.

Valores médios seguidos de letras iguais na mesma coluna não diferem entre si pelo teste de Tuckey a um nível de probabilidade de erro de 5% (ANOVA; teste de Tuckey p<0,05).

Fonte: Autor (2021) com base nos resultados das análises realizadas pelo Laboratório AKVOS.

CESTONARO (2013), em seu trabalho sobre adição de dejetos de bovinos de corte em processos biológicos de estabilização de cama de ovinos (casca de arroz em mistura com fezes e urina), verificou que os potenciais de produção de biogás por ST adicionados, SV adicionados, resíduo e substrato foram diferentes entre os tratamentos, que foram: T100 = 0:100, T75 = 25:75, T50 = 50:50, T25 = 75: 25 e T0 = 100:0, dejetos de bovino e cama de ovinos, respectivamente.

Para os potenciais por ST adicionados, SV adicionados e substrato, os tratamentos com quantidade igual ou superior a 25% de dejetos bovinos (T100, T75, T50 e T25) apresentaram produções de biogás significativamente maiores ($p < 0,05$) quando comparados ao tratamento sem adição de dejetos bovinos na mistura.

Para o potencial por resíduo adicionado, os tratamentos com quantidade igual ou superior a 50% de dejetos bovinos apresentaram produções significativamente ($p < 0,05$) maiores de biogás não diferenciando entre si. O TRH foi de 159 dias com o uso biodigestor de bancada, modelo batelada, de 6 litros de capacidade e concentração de ST afluentes de 5%. Esses resultados são semelhantes ao encontrado no presente trabalho, no qual se verificaram maiores produções médias de biogás, maiores produções de biogás por litro de substratos, ST, SV e DBO adicionados quando a quantidade de dejetos de bovinos na mistura foi igual ou superior a 50%, com exceção do tratamento T4, no qual os dejetos de ovinos utilizados apresentaram menor teor de umidade – o que impactou negativamente na produção de biogás.

Orrico *et al.* (2007) avaliaram os dejetos gerados por cabras Saanen, após processo de biodigestão, em quatro categorias de idade e alimentadas com três dietas. Foram elas: D1: 80% volumoso (Vol) e 20% concentrado (Con)); (D2: 60% Vol e 40% Con) e (D3: 40% Vol e 20% Con).

Observaram-se para as dietas D1, D2 e D3 potenciais de produção de 0,2434, 0,2610 e 0,2680 m³/kg de SV, respectivamente. Esses resultados se encontram superiores aos observados neste trabalho, devido provavelmente a uma dieta alimentar mais rica em concentrado. Existe relação direta dos orgânicos voláteis presentes no substrato com a produção de biogás; deste modo, quanto maior a concentração de SV do substrato afluente, maior a possibilidade efetiva de produção de biogás (OLIVEIRA e HIGARASHI, 2006).

A comparação dos potenciais de produção de biogás do presente estudo com os valores observados na literatura torna-se complexa, uma vez que os experimentos são conduzidos em diferentes condições, tais como características das dejeções, idades dos animais, uso de inóculo, temperatura, alimentação, raça dos animais, TRH, dentre outros.

Os potenciais de produção de biogás por litro de substrato adicionado, por kg de ST e SV adicionados apresentaram diferenças entre si. Para tratamentos com inclusões de dejetos de bovinos igual ou superior a 50%, os potenciais de produção de biogás por litro de substrato adicionado e por kg de ST, SV e DBO adicionados apresentaram produções significativamente maiores ($p < 0,05$) quando comparados ao tratamento com adição inferior a 50% dos dejetos de bovinos.

As produções observadas nos tratamentos com quantidade igual ou superior a 50% de dejetos bovinos se justificam pelos benefícios da codigestão anaeróbia, a qual proporciona produção de biogás e de metano superior, se comparada à digestão de cada um dos substratos observados separadamente. A mistura dos substratos propicia maior variabilidade de nutrientes e fornece nutrientes que poderiam estar limitados nos substratos puros bem como pode evitar a inibição por excesso de ácidos graxos voláteis (ASHEKUZZAMAN e POULSEN, 2011).

5.3.4 Comprovação da presença de metano no Biogás

A Tabela 12 apresenta as concentrações médias de CH_4 e CO_2 , a temperatura e umidade do biogás de todos os tratamentos obtidas pelo aparelho marca JLDG, modelo JD-3002, para monitorar a qualidade do ar.

Tabela 12: Concentrações médias de metano e dióxido de carbono, temperatura e teor de umidade médio do biogás nos 5 tratamentos.

Tratamentos	CH_4 (mg/m^3)	CO_2 (ppm)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Umidade (%)
T1	0,300	1,942	26,2	78,5
T2	0,305	1,905	26,3	67,5
T3	0,312	2,000	25,6	75,8
T4	0,298	1,805	25,3	75,0
T5	0,311	2,000	25,4	78,5

Fonte: Autor, 2021

O teste de queima verificou a combustão do biogás proveniente dos biodigestores e detectou a presença de metano em quantidade suficiente para manter a chama acesa (figuras 18 e 19). Com a presença de chama contínua, confirmou-se a queima e, conseqüentemente,

que, no mínimo, 50% do volume de biogás é constituído por metano. Os vídeos dos testes de queima podem ser vistos no seguinte link: <https://photos.app.goo.gl/PTFZdQce6oHiCYVD6>

Figura 19: Teste de queima do biogás



Fonte: Autor (2021)

Figura 20: Teste de queima do biogás



Fonte: Autor (2021)

6 CONCLUSÃO

A digestão anaeróbia de dejetos de ovinos é influenciada positivamente pela inclusão de dejetos de bovinos, a qual leva ao aumento da eficiência do processo da digestão anaeróbia, elevando a quantidade de material orgânico carbonáceo convertido em biogás. O dejetos de bovino promove antecipação do início da produção efetiva e manutenção da produção de biogás.

A inclusão de dejetos de bovinos em quantidade igual ou superior a 50% nos dejetos de ovinos aumenta significativamente a produção total de biogás, os potenciais de produção de biogás por kg de ST, SV e DBO adicionados e reduzidos no biodigestor.

São propostas novas linhas de pesquisa com inclusões superiores a 50% de dejetos de bovinos em dejetos de ovinos, pois foram as percentagens de inclusões que apresentaram maiores produções de biogás e também repetições do mesmo experimento para corroborar com os resultados do presente trabalho. É sugerida também a homogeneização do substrato afluente, através de seu trituramento e seu peneiramento.

REFERÊNCIAS

- ALATRISTE-MONDRAGON, F; SAMAR, P; COX, H.H.J; AHRING, B.K; IRANPOUR, R. Anaerobic codigestion of municipal, farm, and industrial organic wastes: a survey of recent literature. **Water Environ. Res.** v.78, n.6, p.607–636, 2006.
- AL-MASRI, M. R. Changes in biogas production due to different ratios of some animal and agricultural wastes. **Bioresource Technology**, Oxford, v.77, n.1, p.97-100, 2001.
- ALESSI, M. C. M. **Avaliação da hidrólise alcalina da gordura sobre a biodegradação anaeróbia de soro de queijo**. 2005. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, 2005.
- AMORIM, A. C. **Caracterização dos dejetos de caprinos: reciclagem energética e de nutrientes**. 2002. 108f. Dissertação (Mestrado em Produção Animal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, SP, 2002.
- AMORIM, A. C; LUCAS JUNIOR, J. RESENDE, K. T. Biodigestão anaeróbia de dejetos de caprinos obtidos nas diferentes estações do ano. **Eng. Agríc.** v. 24, n. 1, Jaboticabal, 2004.
- AMORIM, A. C. **Avaliação do potencial de impacto ambiental e do uso da compostagem e biodigestão anaeróbia na produção de caprinos**. 2005. 129f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2005.
- ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Banco de Informações de Geração**. 2015. Disponível em: www.aneel.gov.br. Acesso em: 05 jan. 2021.
- ANGELIDAKI, I; AHRING, L.E.B.K. Modeling anaerobic co-digestion of manure with olive oil mill effluent. **Water Science and Technology**. v.36, n.6-7, p.263–270, Elsevier: 1997.
- APHA; AWWA; WPCF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21th Edition. Washington**. American Public Health Association, American Water Woks Association, Water Environment Federation. Washington-DC, USA, 2005.
- ARAÚJO, L. C. A. **Co-digestão anaeróbia dos dejetos de ovinos e glicerina bruta**. 2012. 42 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS, 2012.
- ASSUNÇÃO, G. P. **Avaliação da produção de metano no biogás frente a diferentes diluições do dejetos bovino e a influência nutricional**. 2020. 95 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal de Goiás, Catalão, 2020.
- ASTALS, S; VENEGAS, C; PECES, M; JOFRE, J; LUCENA, F; MATA-ALVAREZ, J. Balancing hygienization and anaerobic digestion of raw sewage sludge. **Water Res.** 46 (19), 6218 e 6227. 2012.

ASTALS S, NOLLA-ARDEVOL V, MATA-ALVAREZ J. Thermophilic co-digestion of pig manure and crude glycerol: process performance and digestate stability. **J Biotechnol**; 166:97-104. 2013

ASHEKUZZAMAN, S. M.; POULSEN, T. G; Optimizing feed composition for improved methane yield during anaerobic digestion of cow manure based waste mixtures. **Bioresource Technology**, v.102, n.3, p.2213-2218, 2011.

BAERE, L., MATTHEEUWS, B. Anaerobic digestion of MSW in Europe. **Biocycle** **51**, 24-26. 2010.

BALDACIN, A. C. S; PINTO, G. M. F. Biodigestão anaeróbia da vinhaça: aproveitamento energético do biogás, **Revista Eletrônica FACP**. 47 p. 2015.

BOHRZ, G. I; Geração de metano em lagoas anaeróbias: um estudo de caso em abatedouro de bovino. 2010. 153p. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Santa Maria, RS, 2010.

BONTURI, L.G; DIJK, M.V. Instalação de biodigestores em pequenas propriedades Rurais: análise de vantagens socioambientais Revista. **Ciências do Ambiente On-Line** V 8. Número 2, 8.895p. Out. 2012.

BORZANI, W; SCHMIDELL, W; LIMA, U. A; AQUARONE, E. **Biotecnologia Industrial**. vol. 1. São Paulo: Blucher: Edgard Blucher Ltda., 245p. 2001.

BOTEGA, J. L. **Compostagem e caracterização físico-química de substrato de cama de aviário: estudo de caso**. 2019. Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais, Medianeira, 2019.

CAETANO, L. **Proposição de um sistema modificado para quantificação de biogás**. 1985. 75 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Botucatu, 1985.

CAMPOS, A.T; FERREIRA, W. A; PACCOLA, A. A; LUCAS JÚNIOR, J; ULBANERE, R. C; CARDOSO, R. M; CAMPOS, A. T. Tratamento biológico aeróbio e reciclagem de dejetos de bovinos em sistema intensivo de produção de leite. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v.26, n.2, p.426-438, mar./abr., 2002

CAMPOS, C. M. M. **Physical aspects affecting granulations in UASB reactors**. 1990. 459p. Thesis (PhD) - University of Newcastle upon Tyne, Newcastle, 1990.

CARDOSO, B. F; OYAMADA, G. C; SILVA, C. M. Produção, Tratamento e Uso dos Dejetos Suínos no Brasil. **Desenvolvimento em Questão**, Ijuí, v. 13, n. 32, p. 127- 145, out./dez. 2015.

CESTONARO, T. **Adição de dejetos de bovinos de corte em processos biológicos de estabilização de cama de ovinos**. 2013. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2013.

CESTONARO, T. *et al.* The anaerobic co-digestion of sheep bedding and cattlemanure increases biogas production and improves biofertilizer quality. **Waste Management**, v. 46, p. 612-618, 2015.

CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores Anaeróbios Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias - V. 5.** 2 ed. ampliada e atualizada. Belo Horizonte Ed. UFMG, 2016, 379p.

CIDADE BRASIL-ESTADO DE MINASGERAIS-MUNICÍPIO PITANGUI. Disponível em: <https://www.cidade-brasil.com.br/tempo-pitangui.html>. Acesso em: 10 de jan. 2021.

CONCEIÇÃO, O. P. **Práticas para a redução de perdas de N na compostagem do esterco de galinha.** 2018. Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2018.

COSTA, C. C. **Avaliação de sistema anaeróbio (RAC-UASB) no tratamento de água residuária de suinocultura e aplicação via fertirrigação, em feijão-vagem cultivado em ambiente protegido.** 2007. 173 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Água e Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.

DEGANUTTI, R; PALHACI, M. C. J. P; ROSSI, M; TAVARES, R; SANTOS, C. Biodigestores Rurais: modelos indiano, chinês e batelada. **UFSC. Revista Scielo**, 2002.

ECOPROG, 2017. Waste and bio, infrastructure monitor. Cologne. 2017.

ENSMINGER. EUGENE. M, Alimentos y alimentación del ganado¹⁴. Clovis, Ca. 1.543 p. Edición: 2 ed. **Feeds & nutrition**. 1990.

FAOSTAT, 2017. **Faostat: Food and Agriculture.** 2017 Data . Roma: FAOSTAT.

FARIA, R. A. P. **Avaliação do potencial de geração de biogás e de produção de energia a partir da remoção da carga orgânica de uma estação de tratamento de esgoto - Estudo de caso.** 2012. 63 f. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Cascavel, PR, 2012.

FERNANDES, A; Branco, P. M. P; Cangani, M. T; Lucas Júnior, J. Água residuária de laticínio em codigestão com dejetos de bovinos leiteiros. **Energ. Agric.** Botucatu, vol. 33, n.3,p.231-236, julho-setembro, 2018.

FRIGON, J.C; ROY, C; GUIOT, SR. Anaerobic co-digestion of dairy manure with mulched switch grass for improvement of the methane yield. **Bioprocess Biosyst Eng**; 35:341–9. 2012.

FERREIRA, D. F. SISVAR: A COMPUTER ANALYSIS SYSTEM TO FIXED EFFECTS SPLIT PLOT TYPE DESIGNS. REVISTA BRASILEIRA DE BIOMETRIA, [S.l.], v. 37, n. 4, p. 529-535, dec. 2019. ISSN 1983-0823. Available at: <<http://www.biometria.ufla.br/index.php/BBJ/article/view/450>>. Date accessed: jun, 2020.

GEIZA, P. A. **Avaliação da produção de metano no biogás frente a diferentes diluições do dejetos bovino e a influência nutricional.** 2020, 92f. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Goiás. Catalão, GO, 2020.

GUIMARÃES, L. A; NARDI JUNIOR, G; OLIVEIRA, P. A. Análise e viabilidade econômica em um sistema de confinamento para a terminação de gado de corte anelorado. **Tekhne e Logos**, ISSN 2176 – 4808, Botucatu, SP, v.8, n.1, abril, 2017.

GÜNGÖR-DEMIRCI, G; DEMIRER G. N. Effect of initial COD concentration, nutrient addition, temperature and microbial acclimation treatment ability of broiler and cattle manure. **Bioresource Technology**, v. 93 p. 109-117, 2004.

HAANDEL, A. O; LETTINGA, O. **Tratamento anaeróbio de esgotos: um manual para regiões de clima quente**. Campina Grande: Epgraf. 1994. 239 p.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2016. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/21814-2017-censo-agropecuaria.html?=&t=o-que-e>>. Acesso em: 10 de abril de 2020.

JEYANATHAN J, MARTIN C, MORGAVI DP. The use of direct-fed microbials for mitigation of ruminant methane emissions: a review. **Animal**; 8(2):250–261; 2014.

JUNIOR, ORRICO *et al.* Crude glycerin in co-composting with laying hen manure reduces N losses. **Scientia Agricola**, v. 75, n. 5, p. 361-367, 2018

JUNQUEIRA, J. B. **Biodigestão anaeróbia e compostagem com dejetos de bovinos confinados e aplicação do biofertilizante e do composto em área cultivada com *Panicum maximum* JACQ. CV Tanzânia**. 2011. Dissertação, (Mestrado em Zootecnia- Área de Concentração em Produção Animal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2011.

KALOGO, Y; VERSTRAETE, W. Development of anaerobic sludge bed (ASB) reactor technology for domestic wastewater treatment: motives and perspectives. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, Heidelberg, v. 15, n. 5, p. 523-534, Oct. 1999.

KANWAR, S. S; KALIA, A. K. Anaerobic fermentation of sheep droppings for biogas production. **World Journal of Microbiology e Biotechnology**, v.9, p.174-175, 1993.

KUNZ, A; STEINMETZ; R. L. R; AMARAL. A. C. **Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato**. Concórdia, SC. Sbera: Embrapa Suínos e Aves, 2019. 209 p.

KELLEHER, B. P, LEAHY, J. J; HENIHAN, A. M; ODWYER, T. F; SUTTON, D; LEAHY, M. J. Advances in poultry litter disposal technology - a review. **Bioresource Technology**, v. 83, p. 27-36, 2002.

LOPES, W. R. T; MANARELLI, D. M; ORRICO, A. C. A; *et al*; Concentrações de sólidos totais e voláteis, coliformes totais e termotolerantes e demanda química de oxigênio em dejetos de ovinos estocados por diferentes períodos. In: ENEPE - UFGD, Dourados. **Anais... Dourados: ENEPE - UFGD**, 2011. (CD-ROM).

LUCAS JUNIOR, J; AMORIM, A. C. Manejo de dejetos: Fundamentos para integração e agregação de valor. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ZOOTECNIA, 2005. Campo Grande, MS. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira de Zootecnista, [2005]. (CD-ROM).

LUCENA, R. M. **Identificação molecular da diversidade microbiana em reator UASB de estação de tratamento de esgoto**. 2008. 63 f. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, 2008.

MACHADO B. G. **Geração e Aproveitamento Energético do Biogás**. PROJETO PROBIOGÁS. 2016. 302p.

MACIEL, Thiago Thiarles Braw André Furlan Romualdo Angelo Abraão Lincon Picciuto Maciel. **Co-digestão anaeróbia dos dejetos de ovinos com diferentes inclusões de resíduo líquido de incubatório**. 2018. 36 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS, 2018.

MADSEN M, HOLM-NIELSEN JB, ESBENSEN KH. Monitoring of anaerobic digestion processes: are view perspective. **Renew Sustain Energy Rer**; 15:3141–55. 2011.

MAKAN, A. Windrow co-composting of natural casings waste with sheep manure and dead leaves. **Waste Management**, v. 42, p.17-22, 2015.

MALINA, J. F; POHLAND, F. G. **Design of anaerobic processes for the treatment of industrial and municipal wastes**. Lancaster: Technomic, 1992. 214p.

MATA-ALVAREZ, DOSTA J, MACÉ S, ASTALS S. Codigestion of solid wastes: a review of its use and perspectives including modeling. **Crit Ver Biotechnol**; 31:99–111. 2011

MATA-ALVAREZ, J; DOSTA, J; ROMERO-GÜIZA, M. S; FONOLL, X; PECES, M; ASTALS, S. A. Critical review on anaerobic co-digestion achievements between 2010 and 2013. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, n.36, p.412–427, 2014.

MATOS, C. F. **Produção de biogás e biofertilizante a partir de dejetos de bovinos, sob sistema orgânico e convencional de produção**. 2016. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental, 2016.

MATOS, C. F; PAES, J. L, LIMA, E; PINHEIRO, E. F. M; CAMPOS, D. V. B. Avaliação do potencial de uso de biofertilizante de esterco bovino resultante do sistema de manejo orgânico e convencional da produção de leite. **Revista Virtual de Química**, Niterói, v. 9, n. 5, p. 1957-1969, set./out.2017.

MATOS, C. F; PAES, J. L, LIMA, E; PINHEIRO, E. F. M; CAMPOS, D. V. B. Biogas production from dairy cattle manure, under organic and conventional production systems. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 37, n. 6, p. 1081-1090, nov./dez. 2017.

MATOS, C. F; PINHEIRO, E. F. M; CAMPOS, D. V. B. Biogas and biofertilizer production from dairy cattle manure under organic and conventional production systems in Seropedica, Rio de Janeiro (Brazil). In: **WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE**, 21. 2018, Rio de Janeiro. Soil science: beyond food and fuel: proceedings... Viçosa, MG: SBCS, 2019. v. 2, p. 150-151. WCSS 2018.

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.

MOTERANI, F. **Monitoramento biológico e físico-químico de reatores anaeróbios (RAC-UASB) no tratamento de efluentes líquidos da suinocultura**. 2010. 220 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2010.

NESHAT, S. A. et al. Anaerobic co-digestion of animal manures and lignocellulosic residues as a potent approach for sustainable biogas production. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, v. 79, p.308-322, nov. 2017.

NICHOLSON, F. A; CHAMBERS, B. J; WILLIAMS, J. R; UNWIN, R. J. Heavy metal contents of livestock feeds and animal manures in England and Wales. **Bioresource Technology**, v. 70, p. 23-31, 1999.

OLIVEIRA, P. A. V. de; HIGARASHI, M. M. **Geração e utilização de biogás em unidades de produção de suínos**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2006. 42 p.

ORRICO, A. C. A; LOPES, W. R. T; MANARELLI, D. M; ORRICO JUNIOR, M. A. P; SUNADA, N. S. Codigestão anaeróbia dos dejetos de bovinos leiteiros e óleo de descarte. **Revista de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.36, n.3, p.537-545, 2016.

ORRICO, A. C. A; LUCAS JÚNIOR, J; ORRICO JÚNIOR, M. A. P. Caracterização e biodigestão anaeróbia dos dejetos de caprinos. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 3, p. 639-647, 2007.

ORRICO JUNIOR, M.A.P; ORRICO, A.C.A; LUCAS JUNIOR, J. Influência da relação volumoso : concentrado e do tempo de retenção hidráulica sob a biodigestão anaeróbia de dejetos de bovinos. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.30, n.3, p.386-394, 2010.

ORRICO JÚNIOR, M. A. P; ORRICO, A. C. A; LUCAS JÚNIOR, J. Produção animal e o meio ambiente: uma comparação entre potencial de emissão de metano dos dejetos e a quantidade de alimento produzido. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.31, n.2, p.399-410, 2011.

ORRICO JUNIOR, M. A. P; ORRICO, A. C. A; LUCAS JUNIOR, J; A. A. M. SAMPAIO; FERNANDES, A R. M., EMANUEL OLIVEIRA, A. Biodigestão anaeróbia dos dejetos da bovinocultura de corte: influência do período, do genótipo e da dieta. **R. Bras. Zootec.** v.41, n.6, p.1533-1538, ISSN 1806-9290, 2012

ORRICO JUNIOR, M. A. P; ORRICO, A. C. A. Quantification, Characterization, and Anaerobic Digestion of Sheep Manure: The Influence of Diet and Addition of Crude Glycerin. **Environmental Progress & Sustainable Energy**, v. 34, n. 4, p. 1038-1043, 2015.

OTARAKU, I. J; OGEDENGBE, E. V. Biogas production from sawdust waste, cow dung and water hyacinth-effect of sawdust concentration, **International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management**, vol. 2 n. 6 pp. 91-93, 2013.

PEREIRA JUNIOR, D. Al. **Potencial energético do esterco bovino em Alagoas: valor de substituição e impacto da biodigestão anaeróbica**. 2019. 41 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Energia da Biomassa) – Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Energia da Biomassa, Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, 2018.

PINTO, C. P. **Tecnologia da digestão anaeróbia da vinhaça e desenvolvimento sustentável**. 1999. 147 f. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual de Campinas. Campinas, SP, 1999.

PIRONDINI M; COLOMBINI S; MALAGUTTI L; RAPETTI L; GALASSI G; ZANCHI R; CROVETTO M. Effects of a selection of additives on in vitro ruminal methanogenesis and in situ and in vivo NDF digestibility. **Anim Sci J**; 86: 59–68; 2015.

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 (3), p.326- 332, 2010.

RABELO, E. A. **Palhas de milho e de feijão como co-substratos na digestão anaeróbia de esterco bovino leiteiro**. 2018. 48f. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília. 2018.

RODRIGUES, A. L. S. **Co-digestão anaeróbia de resíduos de natureza orgânica**. 2005. 164p. Dissertação (Mestrado em Gestão Ambiental, Materiais e Valorização de Resíduos) - Universidade de Aveiro, Aveiro, 2005.

SAGULA, A. L; COSTA, L. V. C; LUCAS JUNIOR, J. Diferentes diluições e uso de reciclo na biodigestão anaeróbia de cama de frango triturada e peneirada: ensaio batelada. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering** v. 11 p. 373-384, 2017.

SALAM, B; BISWAS, S; RABBI, M. S. Biogas from Mesophilic Anaerobic Digestion of Cow Dung Using Silica Gel as Catalyst. **Procedia Engineering**, vol. 105, p. 652-657, 2015.

SALOMON, K. R. **Avaliação técnico-econômica e ambiental da utilização do biogás proveniente da biodigestão da vinhaça em tecnologias para geração de eletricidade**. 2007. 219 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Itajubá. Itajubá, MG, 2007.

SANTOS, D. F; GUIMARÃES, W. F. F; GONÇALVES, C. U. Biodigestores como alternativa à sustentabilidade ambiental no campo brasileiro: um balanço bibliográfico acerca dos modelos indiano, chinês e batelada, **Ciência Agrícola**, Rio Largo, v. 15, número suplementar, p. 35-39, 2017.

SBIZZARO, M. **Vermicompostagem a partir de dejetos de ovinos e bovinos com palha de cana-de-açúcar**. 134 f. (Trabalho de conclusão de curso) Curso Superior de Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2013.

SILVA, E. C. G. **Codigestão anaeróbia da fração orgânica de resíduos sólidos urbanos e dejetos de bovino leiteiro: obtenção e projeção dos resultados em um estudo de caso no município de Penápolis - SP**. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2017.

SILVA, N; JUNQUEIRA, V. C. A. **Manual de métodos de análise microbiológica de alimentos**. 2. ed. São Paulo: Varela, 2001. 317 p.

SIQUEIRA, L. M. **Influência da taxa de carregamento orgânico na degradação anaeróbia da vinhaça em reator de leito fluidizado**. 2008. 130 f. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de São Carlos. São Carlos. SP. 2008.

SOARES, C. S. G. C; PAES, J. L; ALVES, T. B. S. Utilização de lodo de esgoto como inóculo para partida de biodigestores abastecidos com dejetos bovinos. **VII Congresso Brasileiro de Energia Solar**. Gramado, RS, abril de 2018.

SÓRIO, A. **Diagnóstico da oferta e demanda de ovinos e caprinos, processamento de carne, pele e leite na região central de Tocantins**. PDRIS, 2018 Disponível em: <https://central3.to.gov.br/arquivo/405313/>. Acesso em: 06 fev. de 2021.

SPEECE, R. E. **Anaerobic biotechnology for industrial wastewaters**. Nashville, Tenn: Archae Press, 1996. 394 p.

TULLO, E; FINZI, A; GUARINO, M. Review: Environmental impact of livestock and precision livestock as a mitigation strategy. *Science of The Total Environment*. p.2751-2760, 2019.

UGBOGU, E. A; ELGHANDOUR, M. M. M. Y; IKPEAZU, V. O; BUENDÍA, G. R; Molina, O. M; Arunsi, U. O; Emmanuel O; Salem, A. Z. M. The potential impact of dietary plant natural products on the sustainable mitigation of methane emission from livestock farming. **J Clean Prod**. 213:915–925; 2017;

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2014. 452 p.

VICENZI, R. **Biociencia de alimentos**. Ijuí: Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, 2002. 99 p.

WHITE, P. L. **Contempo '81. Foods and Nutrition**. - JAMA 245: 2239-2241. 1981 WYMAN, C. E; DECKER, S. R; HIMMEL, M.L E; BRADY, J. W; SKOPEC, C. E; VIKARI, L. Hydrolysis of Cellulose and Hemicellulose. *In: DUMITRIU, S. (Ed). Polysaccharides: Structural diversity and functional versatility*. 2 ed. New York: Marcel Dekker Inc, 2005. cap. 43, p. 995-1034.

WILKINSON K. G. A comparison of the drivers influencing adoption of on-farm anaerobic digestion in Germany and Australia. **Biomass Bioenergy**; 35:1613–22. 2011.

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. **Eng. Agríc**. Jaboticabal, v.30, n.2, p.212-223, mar./abr. 2010.

ZHANG, L; LEE, Y; JAHNG, D. Bioresource technology anaerobic co-digestion of food waste and piggery wastewater: focusing on the role of trace elements. **Bioresour. Technol.** 102, 5048–5059. 2011.

ZERVAS G; TSIPLAKOU E. An Assessment of GHG emissions from small ruminants in compararison with GHG emissions from large ruminants and monogastric livestock. **Atmos Environ**; 49:13–23; 2012.

APÊNDICES

APÊNDICE A - Produto Técnico - parte I

CIRCULAR TÉCNICA

n

ISSN 0103-4413

Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas
Gerais Departamento de Informação
Tecnológica

Av. José Cândido da Silveira, 1647 - União -
31170-495 Belo Horizonte - MG - www.epamig.br
- Tel. (31) 3489-5000



AGRICULTURA,
PECUÁRIA E
ABASTECIMENTO



MINAS
GERAIS

GOVERNO
DIFERENTE.
ESTADO
EFICIENTE.

Codigestão anaeróbia de dejetos de ovinos com inclusões de dejetos de bovinos em biogigestores operando em batelada¹ (parte I)

Henrique Clayton Rodrigues²

Neimar de Freiras Duarte³

Hygor Aristides Rossoni⁴

1 - INTRODUÇÃO

O Censo Agropecuário de 2016 do IBGE apontou que o Brasil possui um rebanho de ovinos em torno de 18,43 milhões de cabeça e de aproximadamente 218,23 milhões de cabeças de bovinos (IBGE, 2016).

Muitos produtores estão optando pelo sistema de produção de animais em confinamento, especialmente nas regiões próximas aos grandes centros urbanos, tanto de ovinos como de bovinos, pois esse sistema demanda menores áreas de produção, aumenta a eficiência produtiva do rebanho com a redução da idade ao abate e possibilita a produção de carne no período da entressafra (GUIMARÃES *et al.* 2017). O sistema intensivo caracteriza-se pela produção de grandes quantidades de dejetos em pequenas áreas e, para minimizar os impactos ambientais, os produtores devem dispor de alternativas para a manipulação e manejo dos dejetos, devido à possibilidade de atuarem como vetores de doenças e contaminarem a água, o solo e o ar.

Lucas Junior *et al.* (2005) estimaram a produção média de dejetos *in natura* de ovinos e caprinos em 600 kg/animal por ano. Considerando os dados citados pelo IBGE (2016), estima-se a produção de 11,06 milhões de toneladas de dejetos por ano. Utilizando o mesmo raciocínio anterior, a produção média de dejetos *in natura* de bovinos de corte é de 24 kg/dia (ENSMINGER e EUGENE, 1990). Mais uma vez considerando os dados do IBGE do rebanho bovino brasileiro no censo de 2016, é estimada a produção anual de 1,91 bilhão de toneladas de dejetos.

¹ Circular Técnica produzida pela EPAMIG Centro Oeste, (31) 97102-1541, centrooeste@epamig.br

² Engenheiro Agrícola, Esp., Pesq. Centro Oeste, Pitangui, MG, henrique@epamig.br

³ Engenheiro Agrônomo, Dr., Professor IFMG, Belo Horizonte, MG, neimar@ifmg.edu.br

⁴ Engenheiro Agrônomo, Dr., Professor UFV, Floretal, MG, rossoni@ufv.br

A disposição inadequada de resíduos de origem animal pode favorecer o desenvolvimento de organismos indesejáveis, como algumas espécies bacterianas, fungos, parasitas e vírus que transmitem doenças para os seres humanos e outros animais. Pode ainda contaminar o solo e a água, por causa dos teores elevados de Nitrogênio (N) e Fósforo (P) que, ao lixiviarem, atingem o lençol freático. Durante a degradação desses dejetos, é produzido metano, dióxido de carbono e gás sulfídrico que contribuem para o aumento do efeito estufa e causam odores indesejáveis.

Diante dos problemas que esses resíduos de origem animal podem gerar, surgiu a necessidade do seu tratamento adequado; dentro dos diversos processos de tratamento, a digestão anaeróbia e a compostagem são os mais utilizados. O seu tratamento é indispensável para a propriedade obter a adequação ambiental de seu empreendimento e para obter permissão de lançamento de águas residuárias em corpos receptores (AMORIM, 2005 e ORRICO JÚNIOR *et al.* 2011).

A codigestão permite o aumento do rendimento da produção de biogás, se comparada com a digestão de apenas um substrato. Segundo definição descrita por Angelidaki e Ahring (1997), a codigestão é uma forma de tratamento conjunta para diferentes tipos de resíduos. Para Rodrigues (2005), a codigestão de resíduos orgânicos é viável, pois aumenta a estabilidade do processo de tratamento, suplementando o meio de digestão com nutrientes que podem estar em falta em um dos substratos, contribuindo para um melhor desempenho do processo de digestão anaeróbia e para a produção de um biofertilizante de melhor qualidade, quando comparado à digestão de um substrato apenas.

A exploração do maior percentual do rebanho de ovinos nacional se desenvolve em estabelecimentos onde predomina o regime de produção familiar. Esses estabelecimentos não se dedicam exclusivamente à criação de ovinos, onde também são criados bovinos de corte e/ou leiteiro, em sistema semi-intensivo ou extensivo (SÓRIO, 2018). Para o desenvolvimento sustentável da ovinocultura e bovinocultura, é imprescindível a busca por novos métodos de gerenciamento e tratamento dos resíduos gerados por essas atividades, visando à máxima redução dos impactos ambientais e à otimização dos insumos usados na atividade, através de seu reúso ou reciclagem. Os biodigestores tratam e reutilizam os resíduos provenientes de atividades pecuárias, através do processo da digestão anaeróbia, gerando digestato (fertilizante) e energia alternativa (biogás).

Foi desenvolvido um trabalho no Campo Experimental de Pitangui da Epamig para disponibilizar um método de manejo e reutilização dos dejetos de ovinos e bovinos mais eficiente e ambientalmente correto para produtores rurais, utilizando biodigestores. Existe carência de informações sobre o desempenho do processo de digestão anaeróbia de dejetos de ovinos e bovinos mestiços alimentados a pasto, características inerentes à genética e ao manejo do rebanho adotado na maioria das propriedades onde predomina o sistema de exploração familiar.

O trabalho consistiu na realização de ensaios em escala laboratorial de biodigestores operando em batelada para avaliar o desempenho do processo da digestão e codigestão anaeróbia de dejetos de ovinos e bovinos, uma vez que os mesmos permitem avaliar de forma confiável a eficiência do processo e a capacidade de produção de biogás dos substratos.

2 - DIGESTÃO ANAERÓBIA

O processo de digestão anaeróbia ocorre na ausência de oxigênio molecular, em que micro-organismos degradam a matéria orgânica complexa, como carboidratos, proteínas, celulose e lipídios, transformando-os em compostos mais simples, como metano, dióxido de carbono, sulfeto de hidrogênio, água, amônia, hidrogênio e nitrogênio, extraindo energia e compostos necessários para o seu próprio crescimento (VON SPERLING, 2014).

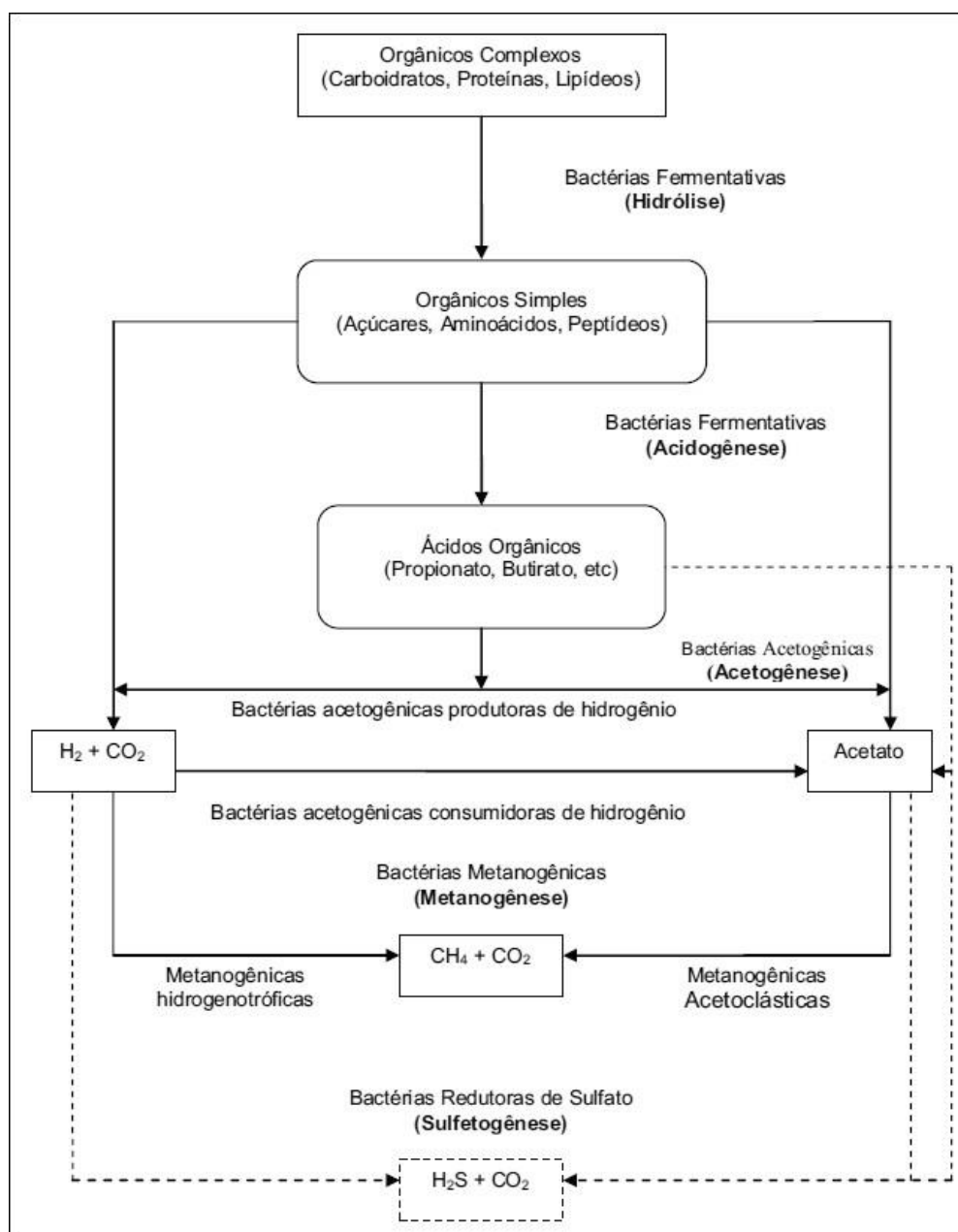
A digestão anaeróbia tem sido muito utilizada no tratamento de resíduos sólidos elíquidos, incluindo dejetos de animais, fração orgânica de resíduo urbano, fração orgânica de efluentes industriais e lodo de estação de tratamento de esgotos. Durante o processo de digestão anaeróbia, o maior percentual da matéria carbonácea é convertido em biogás (entre 70 e 90%) e pequena parte do material orgânico é convertida em biomassa microbiana que vem a constituir o lodo de fundo (entre 5 e 15%) e entre 10 e 30% de matéria orgânica deixam o biodigestor sem ter sido digerida. Nos sistemas aeróbios utilizados no tratamento de resíduos, o percentual da matéria carbonácea degradada biologicamente está entre 40 a 50% e de 30 a 40% da matéria orgânica é convertida em biomassa, constituindo-se assim o lodo de fundo do sistema; por sua vez, entre 5 e 15% de matéria orgânica deixa o sistema sem degradação (CHERNICHARO, 2016).

Os processos biológicos de tratamento de esgotos fundamentam-se na capacidade dos micro-organismos envolvidos utilizarem os compostos orgânicos biodegradáveis, transformando-os em subprodutos, que podem se apresentar na forma sólida (lodo biológico), líquida e gasosa (metano, gás carbônico etc.), que podem ser removidos do meio (CHERNICHARO, 2016).

O efluente líquido tratado pode ser utilizado na fertirrigação, pois seu teor de nutrientes é alto. Como desvantagens do processo de digestão anaeróbia, têm-se alta sensibilidade das bactérias ao pH, temperatura, sobrecargas orgânicas e hidráulicas, necessidade nutricional, compostos tóxicos, além da necessidade do uso de inóculo para diminuir o longo tempo de processo de partida e a produção de fortes odores, caso o biodigestor apresente falhas operacionais (LUCENA, 2008, SIQUEIRA, 2008 e CHERNICHARO, 2016).

Na Figura 1 encontra-se o fluxograma representando as etapas da biodigestão anaeróbia. Os compostos orgânicos mais complexos como os carboidratos, proteínas e lipídios são hidrolisados em compostos orgânicos mais simples como açúcares, aminoácidos e peptídeos que, em seguida, são metabolizados pelas bactérias fermentativas acidogênicas em ácidos orgânicos como o acético, o propiônico e o butírico. Em seguida as bactérias acetogênicas transformam os produtos da etapa anterior em hidrogênio (H_2), dióxido de carbono (CO_2) e acetato; na sequência, a metanogênese resultará na formação do metano (CH_4) através de dois grupos de bactérias: as metanogênicas acetoclásticas, que utilizam o acetato e o metanol, e as hidrogenotróficas que metabolizam o H_2 e o CO_2 (LUCENA, 2008, SIQUEIRA, 2008 e CHERNICHARO, 2016).

Figura 1 – Esquema das principais etapas do processo da biodigestão anaeróbia



Fonte: Autor adaptado de Siqueira, 2008

3 - FATORES QUE INFLUENCIAM A DIGESTÃO ANAERÓBIA

3.1 - Temperatura

A temperatura é um dos fatores mais importantes na digestão anaeróbia de efluentes líquidos, pois afeta os processos biológicos de diferentes maneiras. A temperatura determina em parte, a taxa de crescimento e, conseqüentemente, a densidade de micro-organismos da biomassa, bem como afeta a taxa das reações químicas e bioquímicas envolvidas no processo, influenciando o processo de degradação biológica, o volume de biogás produzido e também de digestato (FARIA, 2012).

Dependendo da faixa de temperatura em que se encontra o substrato, determinado grupo de bactérias irá permanecer durante o processo de digestão – o que afetará diretamente a eficiência do processo. Essas faixas de temperatura podem ser associadas ao crescimento microbiano e são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1: Faixa temperatura associadas ao crescimento microbiano

Faixa	Intervalo de temperatura (°C)
psicrófila	4 a 15
mesófila	20 a 40
termófila	45 a 70 e acima

Fonte: Autor adaptado de Chernicharo, 2016

No Brasil os biodigestores são projetados para operar na faixa mesófila, pois essas temperaturas são as próximas à temperatura ambiente, o que elimina a necessidade de sistema de aquecimento e reduz os custos operacionais, pois não haverá gasto com energia para aquecer o biodigestor. Entretanto, a faixa de operação termófila é bastante eficiente, pois nessa faixa de temperatura é aumentada a taxa e o grau de decomposição do material carbonáceo, resultando em menor tempo de retenção hidráulico, o que reduz as dimensões necessárias dos digestores. (FARIA, 2012 e CHERNICHARO, 2016).

3.2 - Potencial Hidrogeniônico

O potencial hidrogeniônico (pH) influencia diversos equilíbrios químicos que ocorrem em processos de tratamento de águas residuárias e é um parâmetro importante nos estudos da digestão anaeróbia. Esse parâmetro influencia diretamente a digestão anaeróbia, pois as bactérias metanogênicas, em meio ácido, anulam as atividades enzimáticas e, em meio alcalino, as bactérias fermentativas produzem anidrido sulfuroso e hidrogênio (SILVA e JUNQUEIRA, 2001).

Cada grupo de micro-organismo tem um valor diferente de pH ótimo. As archaeas metanogênicas são extremamente sensíveis ao pH, com um valor ótimo entre 6,6 e 7,4, porém se consegue estabilidade da produção de metano numa faixa mais ampla de pH que pode variar entre 6,0 e 8,0. As bactérias fermentativas são menos sensíveis e podem se adaptar a maiores variações de pH, entre 4,0 e 8,5 (ARAÚJO, 2012 e CHERNICHARO, 2016).

O processo de digestão anaeróbia efetua-se entre pH de 6,3 e 7,8, cujo valor ótimo é 7; em valores abaixo de 6,3, a acidez aumenta rapidamente e ocorre a paralisação da etapa de fermentação. Os micro-organismos da fermentação ácida são menos sensíveis às variações de pH, então, quando o pH abaixa, a fermentação ácida pode prevalecer sobre a fermentação metanogênica, tendo como resultado o “azedamento” do biodigestor (VICENZI, 2002).

3.3 - Nutrientes

Os esgotos sanitários (domésticos) e os dejetos agropecuários apresentam nutrientes em concentrações adequadas para o crescimento microbiano, com exceção do ferro. Os efluentes

industriais são mais específicos em composição e frequentemente existe a necessidade de adição de nutrientes para que a degradação seja ótima. A baixa taxa de crescimento dos micro-organismos anaeróbios, comparada ao dos aeróbios, resulta num menor requerimento nutricional (CHERNICHARO, 2016).

A presença de concentrações adequadas de macro e micronutrientes são fundamentais para que os processos de tratamento de efluentes sejam operados com êxito. As células dos micro-organismos anaeróbios são constituídas por nitrogênio, fósforo e enxofre, aproximadamente nas proporções 12, 2 e 1%, respectivamente, de matéria seca. Para o processo anaeróbio, são necessárias relações de 1.000:5:1 de DQO, N e P, respectivamente. Os íons de enxofre, potássio, cálcio, magnésio, cloro e sulfato são necessários para o bom funcionamento da digestão anaeróbia. Elementos com baixas concentrações como ferro, cobre, zinco, magnésio, molibdênio e vanádio são importantes para o crescimento celular (CHERNICHARO, 2016 e KUNZ *et al*, 2019).

O requerimento de fósforo também pode ser estimado como um quinto (1:5) do requerimento de nitrogênio na base de massa (CHERNICHARO, 2016 e KUNZ *et al*, 2019). O enxofre também é considerado essencial e sua concentração, em geral, deve ser da mesma ordem de grandeza ou levemente superior à de fósforo (MALINA e POHLAND, 1992).

3.4 Toxicidade

Com a finalidade que o processo da digestão anaeróbia aconteça de maneira eficiente, é necessário que exista um ambiente propício ao desenvolvimento dos micro-organismos, sem a presença de materiais tóxicos em níveis que causem inibição do desenvolvimento microbiano. Um composto, quando presente em concentrações elevadas, pode ser tóxico; então a toxicidade deve ser considerada em termos de concentrações, ao invés da presença de determinado composto (CHERNICHARO, 2016).

Para evitar que os materiais tóxicos interfiram no processo, os mesmos devem ser removidos do substrato. Outra forma de neutralizar esses elementos é a diluição do substrato até que os mesmos fiquem abaixo do limite de toxicidade (SOLOMON, 2007 e CHERNICHARO, 2016).

4 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para o desenvolvimento sustentável da pecuária, é imprescindível a busca por novos métodos de gerenciamento e tratamento dos resíduos gerados por essa atividade, visando à redução dos impactos ambientais e à otimização dos insumos usados, através de seu reúso ou reciclagem. Os biodigestores tratam e reutilizam os resíduos provenientes de atividades pecuárias, através do processo da digestão anaeróbia, gerando digestato (fertilizante) e energia alternativa (biogás).

A codigestão permite o aumento da eficiência do processo, e conseqüentemente, da produção de biogás e a obtenção de um biofertilizante de melhor qualidade.

5 - REFERÊNCIAS

- ANGELIDAKI, I; AHRING, L.E.B.K. Modeling anaerobic co-digestion of manure with olive oil mill effluent. **Water Science and Technology**. v.36, n.6-7, p.263–270, Elsevier: 1997.
- AMORIM, A. C. **Avaliação do potencial de impacto ambiental e do uso da compostagem e biodigestão anaeróbia na produção de caprinos**. 2005. 129 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2005.
- ARAÚJO, L. C. A. **Co-digestão anaeróbia dos dejetos de ovinos e glicerina bruta**. 2012. 42 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS, 2012.
- CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores Anaeróbios Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias - Vol. 5**. 2 ed. ampliada e atualizada. Belo Horizonte Ed: UFMG, 2016, 379p.
- ENSMINGER, EUGENE. M, Alimentos y alimentación del ganado¹⁴. Clovis, C. A: 1543 p. Edición: 2 ed. **Feeds & nutrition**. 1990
- FARIA, R. A. P. **Avaliação do potencial de geração de biogás e de produção de energia a partir da remoção da carga orgânica de uma estação de tratamento de esgoto - Estudo de caso**. 2012, 63 f. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Cascavel, PR, 2012.
- GUIMARÃES, L. A; NARDI JUNIOR, G; OLIVEIRA, P. A. Análise e viabilidade econômica em um sistema de confinamento para a terminação de gado de corte anelado. **Tekhne e Logos**, ISSN 2176 – 4808, Botucatu, SP, v.8, n.1, abril, 2017.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). 2016. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/21814-2017-censo-agropecuaria.html?=&t=o-que-e->>. Acesso em: 10 de abril de 2021.
- KUNZ, A; STEINMETZ; R. L. R; AMARAL. A. C. **Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato**, Concórdia: Sbera: Embrapa Suínos e Aves, 2019. 209 p.
- LUCAS JUNIOR, J; AMORIM, A.C. Manejo de dejetos: Fundamentos para integração e agregação de valor. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ZOOTECNIA, 2005. Campo Grande, MS. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira de Zootecnista, [2005]. (CD-ROM).
- LUCENA, R. M. **Identificação molecular da diversidade microbiana em reator UASB de estação de tratamento de esgoto**. 2008. 63 f. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, 2008.
- MALINA, J. F; POHLAND, F. G. **Design of anaerobic processes for the treatment of industrial and municipal wastes**. Lancaster: Technomic, 1992. 214p.
- ORRICO JÚNIOR, M. A. P; ORRICO, A. C. A; LUCAS JÚNIOR, J. Produção animal e o meio ambiente: uma comparação entre potencial de emissão de metano dos dejetos e a quantidade de alimento produzido. **Revista Engenharia Agrícola**, v.31, n.2, p.399-410, Jaboticabal, 2011.
- RODRIGUES, A. L. S. **Co-digestão anaeróbia de resíduos de natureza orgânica**. 2005. 164p. Dissertação (Mestrado em Gestão Ambiental, Materiais e Valorização de Resíduos) - Universidade de Aveiro, Aveiro, 2005.
- SALOMON, K. R. **Avaliação técnico-econômica e ambiental da utilização do biogás proveniente da biodigestão da vinhaça em tecnologias para geração de eletricidade**. 219 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Itajubá. Itajubá, M G, 2007.

SÓRIO, A. **Diagnóstico da oferta e demanda de ovinos e caprinos, processamento de carne, pele e leite na região central de Tocantins**. PDRIS, 2018 Disponível em: <https://central3.to.gov.br/arquivo/405313/>. Acesso em: 06 fev. de 2021

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2014. 452 p.

SILVA, N; JUNQUEIRA, V. C. A. **Manual de métodos de análise microbiológica de alimentos**. 2. ed. São Paulo: Varela, 2001. 317 p.

SIQUEIRA, L. M. **Influência da taxa de carregamento orgânico na degradação anaeróbia da vinhaça em reator de leito fluidizado**. 2008. 130 f. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, SP, 2008.

VICENZI, R. **Biotechnology de alimentos**. Ijuí: Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, 2002. 99 p. Apostila.

APÊNDICE B - Produto Técnico - parte II

CIRCULAR TÉCNICA

n.

ISSN 0103-4413

Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas
Gerais Departamento de Informação
Tecnológica

Av. José Cândido da Silveira, 1647 - União -
31170-495 Belo Horizonte - MG - www.epamig.br
- Tel. (31) 3489-5000



AGRICULTURA,
PECUÁRIA E
ABASTECIMENTO



**MINAS
GERAIS**

GOVERNO
DIFERENTE.
ESTADO
EFICIENTE.

Codigestão anaeróbia de dejetos de ovinos com inclusões de dejetos de bovinos em biodigestores operando em batelada¹ (parte II)

Henrique Clayton Rodrigues²

Neimar de Freiras Duarte³

Hygor Aristides Rossoni⁴

1 - INTRODUÇÃO

A disposição inadequada de resíduos de origem animal pode favorecer o desenvolvimento de organismos indesejáveis, como algumas espécies bactérias, fungos, parasitas e vírus que transmitem doenças para os seres humanos e outros animais. Podem ainda contaminar o solo e a água, por causa dos teores elevados de Nitrogênio (N) e Fósforo (P) que podem lixiviar e atingir o lençol freático. Durante a degradação desses dejetos é produzido metano, dióxido de carbono e gás sulfídrico que contribuem para o aumento do efeito estufa e causam odores indesejáveis.

Esses resíduos de origem animal precisam ser tratados adequadamente, para diminuir os riscos de contaminação de seres humanos e outros animais bem como a poluição ambiental, sendo o processo da digestão anaeróbia, através da utilização de biodigestores, uma alternativa. A codigestão permite o aumento no rendimento da produção de biogás, se comparado com a digestão de apenas um substrato (AMORIM, 2005 e ORRICO JÚNIOR *et al.* 2011). Segundo definição descrita por Angelidaki e Ahring (1997), a codigestão é uma forma de tratamento conjunta para diferentes tipos de resíduos.

Foi desenvolvido um trabalho no Campo Experimental de Pitangui da Epamig para disponibilizar um método de manejo e reutilização dos dejetos de ovinos e bovinos mais eficiente e ambientalmente correto para produtores rurais, utilizando biodigestores, modelo indiano, operando em batelada.

¹ Circular Técnica produzida pela EPAMIG Centro Oeste, (31) 97102-1541, centrooeste@epamig.br

² Engenheiro Agrícola, Esp., Pesq. Centro Oeste, Prudente de Moraes, MG, henrique@epamig.br

³ Engenheiro Agrônomo, Dr., Professor IFMG, Belo Horizonte, MG, neimar@ifmg.edu.br

⁴ Engenheiro Agrônomo, Dr., Professor UFV, Floretal, MG, rossoni@ufv.br

Para tanto, foram utilizados 15 protótipos de biodigestores, em PVC, com volume da câmara de digestão de 2,3 litros, os quais foram dispostos sobre bancada, em condições de temperatura ambiente, abrigados de luz solar e chuvas (Figura 1).

Figura 1: Biodigestores de bancada



Fonte: Autor, 2021.

2 - METODOLOGIA UTILIZADA

Os dejetos utilizados no experimento foram provenientes de rebanho de ovinos mestiços das raças Texel, Doper e Santa Inês. A sua dieta alimentar é à base de pasto (*Brachiaria decumbens*) com suplementação de concentrado (200 g/animal x dia, contendo 70% de milho e 30% de farelo de soja).

Já os dejetos de bovinos são provenientes de rebanho de gado de corte, animais mestiços das raças Nelore, Holandês e Brama. A sua alimentação é a pasto (*Brachiaria decumbens*) com suplementação de minerais, sem restrições (à vontade). Os dejetos foram coletados em dezembro de 2020 e no mesmo dia foi feito o abastecimento dos biodigestores.

Os biodigestores permaneceram em funcionamento durante 154 dias (tempo de retenção hidráulico), cuja temperatura oscilou entre os extremos de 20 e 30 °C, sendo que as bactérias do grupo mesófilo permaneceram durante o processo de digestão.

O trabalho avaliou o processo de codigestão anaeróbia de dejetos de ovinos com inclusões de cinco proporções de dejetos de bovinos (Tabela 1), em biodigestores de bancada, operando em batelada. As concentrações de sólidos utilizadas no substrato afluentes foram em torno de 9%.

Tabela 1: Proporções de dejetos de ovinos e bovinos utilizados nos tratamentos

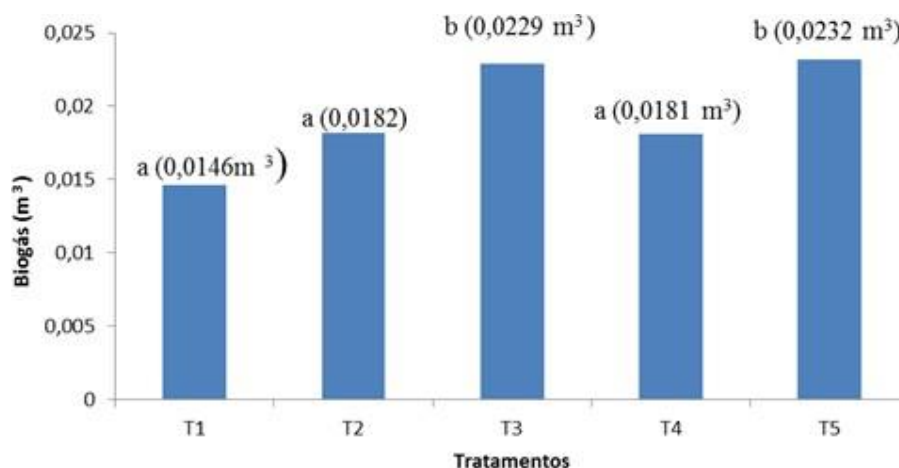
Tratamentos	Dejeto de ovino (%)	Dejeto de bovino (%)
Tratamento 1 (T1)	100	0
Tratamento 2 (T2)	75	25
Tratamento 3 (T3)	50	50
Tratamento 4 (T4)	25	75
Tratamento 5 (T5)	0	100

Fonte: Autor, 2021.

3 – PRODUÇÕES DE BIOGÁS E BIOFERTLIZANTES

Na Figura 1 são apresentadas as produções médias acumuladas de biogás, em m^3 . Nota-se que o T5 (100% DB) e o T3 (50% DO e 50% DB) apresentaram maiores produções de biogás, seguidos dos tratamentos T2 (75%DO e 25% DB), T4(25% DO e 75% DB) e T1 (100% DO). De acordo com esses dados, pode-se concluir que a eficiência do processo de digestão anaeróbia e a quantidade de biogás produzido por dejetos de ovinos são aumentadas pela inclusão de dejetos de bovinos.

Figura 1: Produção média acumulada de biogás nos cinco tratamentos



Valores médios seguidos de letras iguais nas colunas não diferem entre si.
Fonte: Autor, 2021.

Nota-se que o tratamento T4, que possuiu 75% de dejetos de bovinos, apresentou produções de biogás estatisticamente iguais aos tratamentos T1 e T2. Este fato se deve provavelmente à utilização de dejetos de ovinos recolhidos dias após a sua defecação, fato que favoreceu a perda de umidade, com conseqüente endurecimento dos dejetos. Com maior resistência ao esmagamento, o dejetos de ovinos apresentou maiores partículas, as quais dificultam o contato dos micro-organismos com o substrato, fato que interferiu negativamente na conversão da matéria carbonácea em biogás e que, conseqüentemente, levou a menores produções de biogás.

A Tabela 2 apresenta as produções médias de biogás, as produções médias de biogás em relação aos substratos adicionado (com teor de sólidos totais de 9%), em $litro/m^3$, em relação aos sólidos totais e sólidos voláteis adicionados, em m^3/kg .

Tabela 2: Produção média total de biogás, produção de biogás em relação aos substratos, sólidos totais (ST) e sólidos voláteis (SV) adicionados nos 5 tratamentos.

Trat.*	Produção média total (m ³)	Substrato adicionado (m ³ /l)	ST adicionado (m ³ /kg)	SV adicionado (m ³ /kg)
T1	0,0146 a	0,0064 a	0,0647 a	0,0802 a
T2	0,0182 a	0,0079 a	0,0755 ab	0,0924 ab
T3	0,0229 b	0,0100 b	0,1156 c	0,1440 c
T4	0,0181 a	0,0079 a	0,0899 b	0,1149 b
T5	0,0232 b	0,0101 b	0,1204 c	0,1465 c

Valores médios seguidos de letras iguais na mesma coluna não diferem entre si;

*Tratamentos;

Fonte: Autor, 2021.

A Tabela 3 apresenta o potencial de produção de biogás por tonelada de sólidos voláteis (SV) adicionados ao biodigestor dos cinco tratamentos. Nessa tabela é possível observar também a equivalência energética dessa quantidade de biogás produzida por tonelada de SV adicionados com relação ao gás liquefeito do petróleo (GLP), energia elétrica e gasolina.

Tabela 3: Potencial de produção de biogás por tonelada de SV adicionados e equivalência energética em relação ao GLP, energia elétrica e gasolina.

Tratamento	Potencial de produção de biogás/t de SV adicionado (m ³ /t)	GLP (kg)	Energia elétrica (Kwh)	Gasolina (litro)
T1	80,2 a	36,1 a	114,7 a	48,9 a
T2	92,4 ab	41,6 ab	132,1 ab	56,4 ab
T3	144,0 c	64,8 c	205,9 c	87,8 c
T4	114,9 b	51,7 b	164,3 b	70,1 c
T5	146,5 c	65,9 c	209,5 c	89,4 c

Valores médios seguidos de letras iguais na mesma coluna não diferem entre si;

Fonte: Autor, 2021.

A Tabela 4 apresenta as concentrações de nitrogênio, fósforo e potássio, em mg/kg, do digestado (biofertilizante) dos tratamentos. Os tratamentos que contêm maiores proporções de dejetos de ovinos apresentam maiores teores de N, P e K, provavelmente devido à dieta alimentar dos ovinos, que possui suplementação de concentrado, enquanto a dieta dos bovinos possui suplementação apenas de minerais.

Tabela 4: Concentração de nitrogênio, fósforo e potássio e pH dos 5 tratamentos.

Tratamento	Nitrogênio (mgN/kg)	Fósforo (mgP/kg)	Potássio (mg/kg)	pH
T1	507,81 ab	769,44 a	3.200,00 b	8,03 b
T2	620,83 b	736,11 a	2.624,67 ab	8,20 b
T3	544,83 ab	601,39 a	3.307,33 b	8,00 b
T4	450,12 ab	851,43 a	3.074,67 b	7,87ab
T5	264,53 a	169,72 a	1.312,67 a	7,30 a

Valores médios seguidos de letras iguais na mesma coluna não diferem entre si;
Fonte: Autor, 2021.

A tabela 5 apresenta as concentrações de nitrogênio, fósforo e potássio, em kg por tonelada de digestado, nos 5 tratamentos, cujo teor médio de sólidos totais afluentes foi de 9%..

Tabela 5: Concentrações de nitrogênio, fósforo e potássio, em kg por tonelada de digestado, dos cinco tratamentos.

Tratamento	Nitrogênio (kgN/t)	Fósforo (kgP/t)	Potássio (kgK/t)
T1	0,51 ab	0,77 a	3,20 b
T2	0,62 b	0,74 a	2,63 ab
T3	0,54 ab	0,60 a	3,31 b
T4	0,45 ab	0,85 a	3,07 b
T5	0,26 a	0,17 a	1,31 a

Valores médios seguidos de letras iguais na mesma coluna não diferem entre si;
Fonte: Autor, 2021.

4 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

A digestão anaeróbia de dejetos de ovinos é influenciada positivamente pela inclusão de dejetos de bovinos, o qual proporciona aumento da eficiência do processo da digestão anaeróbia, elevando a quantidade de material orgânico carbonáceo convertido em biogás. O dejetos de bovino promove antecipação do início da produção efetiva e a manutenção da produção de biogás.

A inclusão de dejetos de bovinos em quantidade igual ou superior a 50% nos dejetos de ovinos aumentam a produção total de biogás e a de produção de biogás por kg de substrato, kg de sólidos totais e kg sólidos voláteis adicionados ao biodigestor.

5 - REFERÊNCIAS

AMORIM, A. C. **Avaliação do potencial de impacto ambiental e do uso da compostagem e biodigestão anaeróbia na produção de caprinos**. 2005. 129 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2005.

ANGELIDAKI, I; AHRING, L.E.B.K. Modeling anaerobic co-digestion of manure with olive oil mill effluent. **Water Science and Technology**. v.36, n.6-7, p.263–270, Elsevier: 1997.

CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores Anaeróbios Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias** - Vol. 5. 2 ed. ampliada e atualizada. Belo Horizonte Ed: UFMG, 2016, 379p.

FERREIRA, D. F. SISVAR: A COMPUTER ANALYSIS SYSTEM TO FIXED EFFECTS SPLIT PLOT TYPE DESIGNS. **REVISTA BRASILEIRA DE BIOMETRIA**, [S.l.], v. 37, n. 4, p. 529-535, dec. 2019. ISSN 1983-0823. Available at: <<http://www.biometria.ufla.br/index.php/BBJ/article/view/450>>. Date accessed: JUN, 2020.

GEIZA, P. A. **Avaliação da produção de metano no biogás frente a diferentes diluições do dejetos bovino e a influência nutricional**. 2020, 92f. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Goiás. Catalão, GO, 2020.

GUIMARÃES, L. A; NARDI JUNIOR, G; OLIVEIRA, P. A. Análise e viabilidade econômica em um sistema de confinamento para a terminação de gado de corte anelorado. **Tekhne e Logos**, ISSN 2176 – 4808, Botucatu, SP, v.8, n.1, abril, 2017.

JUNIOR, ORRICO *et al.* Crude glycerin in co-composting with laying hen manure reduces N losses. **Scientia Agricola**, v. 75, n. 5, p. 361-367, 2018

KUNZ, A; STEINMETZ; R. L. R; AMARAL. A. C. **Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato**, Concórdia: Sbera: Embrapa Suínos e Aves, 2019. 209 p.

ORRICO JÚNIOR, M. A. P; ORRICO, A. C. A; LUCAS JÚNIOR, J. Produção animal e o meio ambiente: uma comparação entre potencial de emissão de metano dos dejetos e a quantidade de alimento produzido. **Revista Engenharia Agrícola**, v.31, n.2, p.399-410, Jaboticabal, 2011.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2014. 452 p.

ANEXO B – Composição do rebanho bovino do CEPI da EPAMIG

EVOLUÇÃO		MÊS: DEZEMBRO						ANO: 2020			
Classificação	Código	Saldo Anterior	Entradas			Reclassificação		Saídas			Saldo Final
			Nasc	Comp	Transf	Mais	Menos	Venda	Morte	Transf	
BEZERRO MAMANDO	13,001,017	29	2								31
BEZERRO DESMAMADO ATÉ 01 ANO		0								-	0
BEZERRA MAMANDO	13,003,017	26	2							-	28
BEZERRA DESMAMADA ATÉ 01 ANO	13,004,017	0								-	0
NOVILHO DE 1 A 2 ANOS	13,005,017	19									19
NOVILHO DE 2 A 3 ANOS	13,006,017	4								-	4
NOVILHO > 3 ANOS		7								-	7
NOVILHA DE 1 A 2 ANOS	13,008,018	23								-	23
NOVILHA DE 2 A 3 ANOS	13,009,017	23								-	23
NOVILHA > 3 ANOS		4								-	4
VACA EM LACTAÇÃO		14				2	2			-	14
VACA SOLTEIRA		4				2	2	-	-	-	4
TOURO		0	-	-	-	-	-	-	-	-	0
REPRODUTOR 1 A 2 ANOS		0	-	-	-	-	-	-	-	-	0
REPRODUTOR > 2 ANOS		0	-	-	-	-	-	-	-	-	0
RUFIÃO		0	-	-	-	-	-	-	-	-	0
BOI DE TRAÇÃO		0	-	-	-	-	-	-	-	-	0
Totais		153	4	0	0	4	4	0	0	0	157
_____ Responsável pelo Controle Data _____		_____ Responsável pela Unidade Data _____									

ANEXO C – Resultados dos ensaios do dejetos de bovinos



Relatório de Ensaios N° 5045/2020-1.0

Referência: Orçamento N° 443/2020.3

DADOS REFERENTES AO CLIENTE	
Cliente	Henrique Clayton Rodrigues
Endereço	R Avenida Venero Caetano, 779 -Zona Rural-PITANGUI
Matriz (Natureza da amostra)	Resíduo Sólido
Procedência	Amostra - 10

DADOS REFERENTES À AMOSTRA			
Código da Amostra	5045/20		
Identificação do Ponto	Amostra - 10		
Coordenadas Geográficas	0, 0		
Data da Recepção	20/12/2020	Emissão Relatório	25/01/2021 16:16:42

RESULTADOS ANALÍTICOS

Ensaios	Unidade	Data de Realização do Ensaio	LQ	Metodologia de Referência	Resultado	Sem Comparativo	U
% sólidos totais	%	23/12/20	4	SMEWW - 2540 G	16,5	-	0,52
Condutividade Elétrica a 25oC	µS/cm	23/12/20	0,01	SMEWW - 2510 B	2060,00	-	5,150
Fósforo total	mgP/kg	30/12/20	1	SMEWW - 4500-P A, B e E	6322,05	-	-
Nitrogênio Total	mg/kg	23/12/20	-	SMEWW - 4500 N	652835,74	-	-
pH	-	21/12/20	0,1	SMEWW - 4500 H+B	7,2	-	0,03
Potássio	mg/L	22/01/21	0,05	SMEWW - 3111	11163,74	-	823,884
Sólidos Totais Voláteis	%	23/12/20	1	SMEWW - 2540 B, E	13,1	-	-

DADOS REFERENTES À AMOSTRAGEM	
Resp. Amostragem	Cliente
Data Amostragem	20/12/2020
Condições do Tempo	Tempo bom
Plano de Amostragem	Amostragem Realizada Pelo Cliente: Plano de Amostragem de responsabilidade do cliente. Amostragem Realizada pela Akvos: Plano de Amostragem conforme RQ 011U (Plano de Amostragem) e POP GE007 - Guia de Coleta de Amostras Akvos nas versões atuais. Referências Normativas: ABNT NBR 9898/1987; Guia Nacional de Coleta e Preservação da Amostra (ANA, 2011); Embrapa; ABNT NBR 10.007:2004; SMEWW, US EPA).

Abrangência:

Estes resultados são válidos para a(s) amostra(s) analisada(s).

Este relatório de ensaio só pode ser reproduzido por inteiro e sem nenhuma alteração.

Notas:

U = Incerteza Expandida, estimada para um nível de confiança de 95% com fator de abrangência (K) =2.

N.A. = Não aplicável.

SMEWW = Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater

Laboratório com Reconhecimento de Competência ISO 17025 pela RMMG - consulte escopo no site www.rmmg.org.br

Relatório válido com uma das assinaturas

5045/2020-1.0 - Página 1 de 2



ANEXO C – Resultados dos ensaios do dejetos de bovinos

Este relatório foi conferido e liberado eletronicamente por: VANIF

Gerente da Qualidade
Vani Alves Da Fonseca
CRQ 02403936

Responsável Técnico
Adriana Rubim Reis
CRQ 02301173

Laboratório com Reconhecimento de Competência ISO 17025 pela RMMG - consulte escopo no site www.rmmg.org.br
relatório válido com uma das assinaturas 5045/2020-1.0 - Página 2 de 2

Quantum Ensaios Físico - Químicos e Biológicos Ltda.
Rua Monteiro Lobato, 275 - 3º andar - Bairro Ouro Preto
Belo Horizonte-MG CEP: 31310-530
Fone: 31 3461-4478 Fax: 31 3461-4478
akvos@akvos.com.br www.akvos.com.br

ANEXO D – Resultados dos ensaios do dejetos de ovinos



Relatório de Ensaios Nº 5044/2020-1.0

Referência: Orçamento Nº 443/2020.3

DADOS REFERENTES AO CLIENTE	
Cliente	Henrique Clayton Rodrigues
Endereço	R Avenida Venero Caetano, 779 -Zona Rural-PITANGUI
Matriz (Natureza da amostra)	Resíduo Sólido
Procedência	Amostra - 09

DADOS REFERENTES À AMOSTRA			
Código da Amostra	5044/20		
Identificação do Ponto	Amostra - 09		
Coordenadas Geográficas	0, 0		
Data da Recepção	20/12/2020	Emissão Relatório	25/01/2021 16:15:48

RESULTADOS ANALÍTICOS

Ensaios	Unidade	Data de Realização do Ensaio	LQ	Metodologia de Referência	Resultado	Sem Comparativo	U
% sólidos totais	%	23/12/20	4	SMEWW - 2540 G	21,8	-	0,69
Condutividade Elétrica a 25oC	µS/cm	23/12/20	0,01	SMEWW - 2510 B	4310,00	-	10,775
Fósforo total	mgP/kg	30/12/20	1	SMEWW - 4500-P A, B e E	8726,19	-	-
Nitrogênio Total	mg/kg	23/12/20	-	SMEWW - 4500 N	709628,02	-	-
pH	-	21/12/20	0,1	SMEWW - 4500 H+B	7,9	-	0,03
Potássio	mg/kg	22/01/21	2,5	SMEWW - 3111/EPA3050b	31473,1	-	2322,71
Sólidos Totais Voláteis	%	22/01/21	1	SMEWW - 2540 B, E	13,1	-	-

DADOS REFERENTES À AMOSTRAGEM	
Resp. Amostragem	Cliente
Data Amostragem	20/12/2020
Condições do Tempo	Tempo bom
Plano de Amostragem	Amostragem Realizada Pelo Cliente: Plano de Amostragem de responsabilidade do cliente. Amostragem Realizada pela Akvos: Plano de Amostragem conforme RQ 011U (Plano de Amostragem) e POP GE007 - Guia de Coleta de Amostras Akvos nas versões atuais. Referências Normativas: ABNT NBR 9898/1987; Guia Nacional de Coleta e Preservação da Amostra (ANA, 2011); Embrapa; ABNT NBR 10.007:2004; SMEWW, US EPA).

Abrangência:

Estes resultados são válidos para a(s) amostra(s) analisada(s).

Este relatório de ensaio só pode ser reproduzido por inteiro e sem nenhuma alteração.

Notas:

U = Incerteza Expandida, estimada para um nível de confiança de 95% com fator de abrangência (K) =2.

N.A. = Não aplicável.

SMEWW = Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater

Laboratório com Reconhecimento de Competência ISO 17025 pela RMMG - consulte escopo no site www.mmg.org.br

Relatório válido com uma das assinaturas

5044/2020-1.0 - Página 1 de 2



ANEXO D – Resultados dos ensaios do dejetos de ovinos

Este relatório foi conferido e liberado eletronicamente por: VANIF

Gerente da Qualidade
Vani Alves Da Fonseca
CRQ 02403936

Responsável Técnico
Adriana Rubim Reis
CRQ 02301173

Laboratório com Reconhecimento de Competência ISO 17025 pela RMMG - consulte escopo no site www.rmmg.org.br
Relatório válido com uma das assinaturas 5044/2020-1.0 - Página 2 de 2

Quantum Ensaios Físico - Químicos e Biológicos Ltda.
Rua Monteiro Lobato, 275 - 3º andar - Bairro Ouro Preto
Belo Horizonte-MG
Fone: 31 3461-4478
akvos@akvos.com.br

CEP: 31310-530
Fax: 31 3461-4478
www.akvos.com.br