

**GABRIELA MARIA FERNANDES FIÃES**

**BIODEGRADAÇÃO DE FEZES DE CÃES PELA DIGESTÃO ANAERÓBIA EM  
DIFERENTES FAIXAS DE TEMPERATURA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: André Pereira Rosa

**VIÇOSA - MINAS GERAIS  
2023**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

F438b  
2023

Fiães, Gabriela Maria Fernandes, 1996-  
Biodegradação de fezes de cães pela digestão anaeróbia em  
diferentes faixas de temperatura / Gabriela Maria Fernandes  
Fiães. – Viçosa, MG, 2023.  
1 dissertação eletrônica (69 f.): il. (algumas color.).

Orientador: André Pereira Rosa.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa,  
Departamento de Engenharia Agrícola, 2023.  
Referências bibliográficas: f. 59-69.  
DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2023.513>  
Modo de acesso: World Wide Web.

1. Resíduos animais - Biodegradação. 2. Mesófilo.  
3. Micro-organismos termofílicos. 4. Fertigação. I. Rosa, André  
Pereira, 1983-. II. Universidade Federal de Viçosa.  
Departamento de Engenharia Agrícola. Programa de  
Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. III. Título.

CDD 22. ed. 628.7466

Bibliotecário(a) responsável: Alice Regina Pinto Pires CRB-6/2523


**GABRIELA MARIA FERNANDES FIÃES**

**BIODEGRADAÇÃO DE FEZES DE CÃES PELA DIGESTÃO ANAERÓBIA EM  
DIFERENTES FAIXAS DE TEMPERATURA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.


APROVADA: 24 de março de 2023.

Assentimento:

Documento assinado digitalmente  
 GABRIELA MARIA FERNANDES FIAES  
Data: 11/08/2023 11:13:25-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Gabriela Maria Fernandes Fiães  
Autora

Documento assinado digitalmente  
 ANDRÉ PEREIRA ROSA  
Data: 14/08/2023 20:23:22-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

André Pereira Rosa  
Orientador

*Aos meus pais e irmãs.*

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por sempre guiar meus caminhos.

A toda minha família pelo apoio e amor.

Ao meu noivo, Victor Cruz, por estar sempre ao meu lado.

Ao meu orientador, professor André Rosa pela dedicação, compreensão e conhecimento transmitido. Aos meus coorientadores, os professores Alisson Carraro Borges e Fabiana pelas contribuições e disponibilidade.

Aos integrantes do LQA por todo auxílio no decorrer do trabalho.

Aos membros do Laboratório de Biocombustíveis, em particular ao Dilson Novais Rocha por toda paciência e colaboração.

Aos membros da banca avaliadora deste trabalho, por terem aceitado o convite e pelas contribuições para o aprimoramento desta pesquisa.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pela oportunidade de realizar este trabalho, e todos os mestres e servidores técnicos, que de alguma forma contribuíram para minha formação.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG).

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Por fim, a todos que contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho ou para a minha formação, obrigada.

*“Se você pode sonhar, você pode fazer”.*

(Walt Disney)

## RESUMO

FIÃES, Gabriela Maria Fernandes, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, março de 2023. **Biodegradação de fezes de cães pela digestão anaeróbia em diferentes faixas de temperatura.** Orientador: André Pereira Rosa.

As fezes caninas são geradas em elevadas quantidades, em especial pelo aumento do número de animais em canis. A digestão anaeróbia das fezes caninas pode ser uma alternativa interessante para o seu tratamento, com potencialidades de recuperação do biogás e uso do digestato como biofertilizante. O objetivo deste trabalho foi avaliar a biodegradação de fezes de cães pela digestão anaeróbia em diferentes condições de temperatura e relação inóculo/substrato. O estudo compreendeu o monitoramento da geração de fezes caninas em um canil no município de Viçosa (Minas Gerais-Brasil). A quantificação e a caracterização físico-química/microbiológica dos resíduos foram realizadas por um período de 1 mês. Testes de biodegradabilidade (PBM) foram conduzidos para se avaliar os efeitos da relação inóculo:substrato (I:S) de 1:2, 1:1 e 2:1, assim como a influência da temperatura na degradação dos resíduos: (i) ambiente (17°C a 22°C), (ii) mesofílica (35°C), termofílica (55°C), e mista (55°C + 35°C). Estudos cinéticos foram realizados para os modelos de 1º ordem, Gompertz modificado e Cone. Estimou-se o potencial energético do biogás para o canil monitorado. A qualidade do digestato foi avaliada em termos de lançamento em corpos hídricos e atendimento a diretrizes para fertirrigação. A relação I:S que gerou o maior volume de biogás foi a de 1:1 (298,6 mL.g<sup>-1</sup>SV), sendo utilizada esta relação na segunda etapa dos estudos de biodegradabilidade. O tratamento mesofílico (316,9 mL.g<sup>-1</sup>SV) gerou um volume de biogás consideravelmente maior que o tratamento termofílico (202,7 mL.g<sup>-1</sup>SV). Os teores médios de metano produzidos foram semelhantes para os tratamentos mesofílico (48,9%) e termofílico (48,3%). O modelo cinético mais adequado de forma geral para todos os tratamentos foi o Gompertz modificado. Além disso, a produção de energia encontrada para os tratamentos ambiente, mesofílico e termofílico foi de 23,27 MJ.d<sup>-1</sup>, 39,24 MJ.d<sup>-1</sup>, e 25,00 MJ.d<sup>-1</sup>, respectivamente. A geração de fezes caninas foi de 240 g.animal<sup>-1</sup>.d<sup>-1</sup>. A digestão anaeróbia se mostrou vantajosa para o tratamento de fezes caninas em termos de recuperação de recursos e gerenciamento deste resíduo.

Palavras-chave: Mesofílica. Termofílica. Fertirrigação.

## ABSTRACT

FIÃES, Gabriela Maria Fernandes, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, March, 2023. **Evaluation of dog feces biodegradation by anaerobic digestion at different temperature ranges.** Advisor: André Pereira Rosa.

Dog feces are generated in high quantities, especially due to the increasing number of animals in kennels. Anaerobic digestion can be considered an interesting alternative for the treatment, with potential for biogas recovery and use of the digestate as . The objective of this study was to evaluate the biodegradation of dog feces waste by anaerobic digestion under different conditions (temperature ranges and inoculum/substrate ratio). The study comprised the monitoring of dog feces generation in a kennel in the municipality of Viçosa (Minas Gerais-Brazil). The quantification and the physicochemical/microbiological characterization of the waste was performed for a period of 1 month. In addition, biodegradability tests (PBM) were conducted to evaluate the inoculum:substrate (I:S) ratio (1:2, 1:1 and 2:1), as well as the influence of temperature on waste degradation, namely: (i) ambient (17°C to 22°C), (ii) mesophilic (35°C), thermophilic (55°C), and mixed (55°C + 35°C). Kinetic studies were performed for the 1st order, modified Gompertz, and Cone models, as well as an estimate of the energy potential of the biogas for the monitored kennel. Finally, the quality of the digestate was evaluated in terms of discharge into water bodies and meeting guidelines for fertigation. The I:S ratio that generated the highest volume of biogas was 1:1 (298.6 mL.g<sup>-1</sup>SV), and this ratio was used in the second part of the biodegradability studies. Both thermophilic and mesophilic anaerobic digestion were shown to be effective methods for biogas generation from canine feces. However, TM (316.9 mL.g<sup>-1</sup>SV) generated considerably more biogas volume than TT (202.7 mL.g<sup>-1</sup>SV). At the same time, the average methane contents produced were for TM and TT were similar at 48.9% and 48.3%, respectively. The best-fitting kinetic model overall for all treatments was the modified Gompertz. Furthermore, the energy production found for TA, TM, and TT were 23.27 MJ.d<sup>-1</sup>, 39.24 MJ.d<sup>-1</sup>, and 25.00 MJ.d<sup>-1</sup>, respectively. Finally, the generation of canine feces was 240 g.animal<sup>-1</sup>.d<sup>-1</sup>. Anaerobic digestion for canine feces proved advantageous in terms of resource recovery and management of this waste.

Keywords: Mesophilic. Thermophilic. Fertirrigation.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	10
2. OBJETIVOS.....	11
2.1. Objetivo Geral .....	11
2.1. Objetivos específicos .....	11
3. REVISÃO DE LITERATURA .....	12
3.1. Geração e caracterização físico-química das fezes caninas de um canil .....	12
3.2. Caracterização biológica .....	16
3.3. Destinação e tratamento .....	16
3.4. Digestão anaeróbia dos dejetos caninos e recuperação de recursos .....	17
3.5. Legislação .....	19
3.5.1. Destinação das fezes caninas .....	19
3.5.2. Reuso agrícola de efluentes caninos.....	21
4. AVALIAÇÃO DA BIODEGRADAÇÃO DE FEZES DE CÃES PELA DIGESTÃO ANAERÓBIA EM DIFERENTES FAIXAS DE TEMPERATURA .....	25
4.1. Introdução .....	25
4.1. Material e Métodos.....	27
4.1.1. Local de estudo .....	28
4.1.2. Local de estudo .....	29
4.1.3. Estudos de biodegradabilidade das fezes caninas .....	30
4.1.3.1. Definição da relação I:S .....	31
4.1.3.2. Digestão aneróbia em diferentes faixas de temperatura .....	32
4.1.3.3. Potencial de energia .....	36
4.1.3.4. Métodos Analíticos .....	37
4.1.3.5. Análise estatística .....	37
4.1.3.6. Modelos cinéticos .....	37
5.1. Resultados e discussão .....	38
5.1.1. Caracterização e quantificação dos dejetos gerados .....	38
5.1.3. Definição da relação Inóculo:Substrato .....	40
5.1.3. Aclimatação do inóculo e caracterização do substrato utilizados nos testes de biodegradabilidade em diferentes faixas de temperatura .....	41
5.1.4. Influência da temperatura na biodegradabilidade das fezes caninas .....	43
5.1.4. Cinética.....	47
5.1.4. Potencial de reuso das fezes caninas .....	50
5.1.4.1. Caracterização do digestato e avaliação do emprego na fertirrigação .....	50

6. CONCLUSÕES .....	57
6. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	58
REFERÊNCIAS .....	59

## 1. INTRODUÇÃO

Os canis são áreas designadas onde os cães são mantidos, seja temporária ou permanentemente, para uma variedade de propósitos. Eles podem incluir instalações de criação, canis, abrigos para animais e instalações para treinamento de cães. Abrigos para animais, também conhecidos como abrigos de resgate ou canis, são instalações onde os cães são acolhidos quando perdidos, abandonados ou entregues por seus donos. Estes abrigos podem oferecer alojamento temporário ou permanente para cães, bem como cuidados médicos, treinamento de comportamento e serviços de adoção. Em geral, os canis têm um papel importante no fornecimento de cuidados aos cães e na garantia de seu bem-estar. Entretanto, muitos enfrentam condições de precariedade por falta de recursos humanos e financeiros, tendo dificuldade no gerenciamento do canil, como por exemplo do tratamento e disposição dos dejetos caninos. Não existe atualmente, uma legislação específica que estabeleça o destino correto das fezes caninas.

O destino das fezes caninas pode variar entre os canis, dependendo da dinâmica, do espaço, da quantidade de cães e da forma de lavagem das baias. Alguns canis dispõem as fezes caninas no lixo comum, sendo estes então transportados, e destinados no aterro sanitário, como é o caso do canil particular de Viçosa. Outros misturam esses dejetos com a urina, com a água de lavagem e materiais de limpeza, como detergentes e cloro, tal qual é o caso da Sociedade Juizforense de Proteção aos Animais e ao Meio Ambiente (SJPA). Porém, essas formas de disposição aumentam a sobrecarga de resíduos dos aterros sanitários e no esgotamento doméstico que já estão saturados, além de não aproveitar o potencial do resíduo de geração de insumos.

A digestão anaeróbia é um processo que pode ser usado para tratar fezes caninas. Além de produzir biogás, a digestão anaeróbia também pode ajudar a reduzir a quantidade de resíduos que vão para os aterros sanitários, assim como as emissões de gases de efeito estufa associadas. Também pode ajudar a reduzir o risco de poluição da água, evitando problemas de contaminação do solo e infiltração. Entretanto, há alguns desafios associados à digestão anaeróbia das fezes caninas, como o alto teor de nitrogênio das fezes caninas que podem provocar a produção de amônia durante o processo de digestão, que pode levar ao desequilíbrio do processo. Em geral, a digestão anaeróbia é uma alternativa promissora para o tratamento das fezes caninas, com benefícios potenciais tanto para o gerenciamento de resíduos quanto para a produção de energia renovável, em especial, o biogás e digestato. O teste do potencial bioquímico do metano (BMP) é um método utilizado para avaliar a

biodegradabilidade de matérias-primas (Karki, 2021). O mesmo vem sendo muito utilizado para estimar a geração de biogás de diversos resíduos, como esterco de aves e bovinos (Zahedi et al., 2022), água residuárias domésticas (Yadav, Chazarenc, Mutnuri, 2018), dejetos suínos (Hu et al., 2021), resíduos sólidos urbanos (Jiang et al., 2022), resíduos alimentares (Xie, Wickham, Nghiem, 2017), soro de queijo (Estévez et al., 2022), entre outros. O objetivo desta pesquisa é avaliar a biodegradação dos resíduos de fezes de cães pela digestão anaeróbia em diferentes condições (faixas de temperatura e relação inóculo/substrato).

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo Geral**

O objetivo deste trabalho foi avaliar a biodegradação dos resíduos de fezes de cães pela digestão anaeróbia em diferentes condições (faixas de temperatura e relação inóculo/substrato).

### **2.1. Objetivos específicos**

- Caracterizar e quantificar a geração de fezes caninas em um canil municipal da cidade de Viçosa, MG e comparar com outros dejetos animais.
- Avaliar a biodegradabilidade de degradação de fezes caninas em termos de produção de biogás, sob diferentes relações inóculo/substrato e condições de temperatura;
- Avaliar qual modelo cinético melhor se ajusta aos dados de produção de biogás a partir dos estudos de biodegradabilidade
- Avaliar as potencialidades das fezes de cães tratadas pela digestão anaeróbia em termos de atendimento à legislação vigente e emprego na fertirrigação.
- Estimar o potencial energético e formas de gerenciamento dos dejetos de cães no canil monitorado.

### 3. REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1. Geração e caracterização físico-química das fezes caninas de um canil

No Canadá há uma estimativa de geração de fezes por cão de 0,34 kg.d<sup>-1</sup> (Taylor, 2004). A estimativa europeia é de 0,14 kg.d<sup>-1</sup> por animal. Martínez-Sabater et al. (2019) afirmam que esta diferença se dá pelo fato de que na Europa há uma maior abundância de cães de pequeno porte, enquanto o Canadá a maioria dos cães é de porte grande.

Existem poucos trabalhos que avaliam características de dejetos caninos. Souza (2015) caracterizou física e quimicamente o efluente do canil Parque Francisco de Assis da cidade de Lavras - MG após gradeamento. Os autores reportam valores de  $7,2 \pm 0,3$  para pH,  $189 \pm 53$  mg.l<sup>-1</sup> para DBO,  $612 \pm 76$  mg.l<sup>-1</sup> para DQO,  $926 \pm 205$  mg.l<sup>-1</sup> para sólidos totais,  $313 \pm 132$  mg.l<sup>-1</sup> para sólidos suspensos,  $165 \pm 36$  mg.l<sup>-1</sup> para fósforo e  $92 \pm 38$  mg.l<sup>-1</sup> para NTK. De acordo com Souza (2015) as fezes dos cães têm uma composição semelhante ao esgoto doméstico. Ambas possuem elementos como o nitrogênio e o fósforo que possuem potencial poluidor do solo e da água (Costa, 2019). Além disso, em termos biológicos, resíduos de origem animal, geralmente contém elevadas concentrações de patógenos (Manyiloh, 2013).

Na Tabela 1 são apresentados os resultados da caracterização físico-química das fezes caninas em vários trabalhos reportados na literatura.

Tabela 1 – Caracterização físico-química das fezes caninas

Substrato	Parâmetro	Valor	Unidade	Referência
Fezes caninas	pH	5,8	-	
	Condutividade elétrica	9,4	dS.m <sup>-1</sup>	
	Nitrogênio total	3,17	%	
	C/N	12,4	-	
	Amônia	1330	mg.kg <sup>-1</sup>	Soto et. al,
	Fósforo	8,7	%	2022
	Potássio	0,43	%	
	Sódio	0,54	%	
	Manganês	446	mg.kg <sup>-1</sup>	
Cobre	70	mg.kg <sup>-1</sup>		

Fezes caninas	Potássio	1,5	%	Okoroigwe, Ibeto e Ezema, 2014
	Cálcio	0,06	%	
	Magnésio	0,32	%	
	Fósforo	0,48	mg.100g <sup>-1</sup>	
	Carbono	2,98	%	
	Nitrogênio	1,75	%	
	C/N	17	-	
	Sólidos totais	25,2	%	
	Sólidos voláteis	20,5	%	
	SV/ST	0,81	%	
Efluente canino	pH	8,6	-	Souza, 2015
	Condutividade	2,1	dS.m <sup>-1</sup>	
	DBO	400	mg.l <sup>-1</sup>	
	DQO	1647	mg.l <sup>-1</sup>	
	NTK	3787	mg.l <sup>-1</sup>	
	Fósforo	51,3	mg.l <sup>-1</sup>	
	Sólidos totais	1056	mg.l <sup>-1</sup>	
	Sólidos fixos	566	mg.l <sup>-1</sup>	
	Sólidos voláteis	490	mg.l <sup>-1</sup>	
	Alcalinidade	1240	mg de CaCO <sub>3</sub> .l <sup>-1</sup>	
Fezes caninas	pH	4,57	-	Bento et al., 2021
	DQO	28,32	g.l <sup>-1</sup>	
	Nitrogênio total	76,40	mg.l <sup>-1</sup>	
	Fósforo	227,89	mg.l <sup>-1</sup>	
	Sólidos totais	30,61	g.l <sup>-1</sup>	
	Sólidos voláteis	23,12	g.l <sup>-1</sup>	
Fezes caninas	SV/ST	0,76	-	Brito, 2018
	Matéria seca fecal	36,3	%	

	Amônia	0,14	%	
	pH	6,62	-	
	Matéria seca fecal	42,1	%	Komar-
Fezes caninas	Amônia	0,1	%	cheuski et
	pH	7,27	-	al. 2018
	Matéria seca fecal	0,371	g.kg <sup>-1</sup>	
Fezes caninas	Amônia	1,08	g.kg <sup>-1</sup>	Souza et al.
	pH	7,24	-	2021
	Nitrogênio total	0,7	%	Nemiroff e
Fezes caninas	Fosfato	0,25	%	Patterson,
	Potássio	0,02	%	2007
	pH	5,9	-	Martínez
Fezes caninas	Condutividade	5,9	dS.m <sup>-1</sup>	Sabater et
	Nitrogênio total	4,96	%	al., 2019
	C/N	8,8	-	

Bento et al. (2021) observaram uma relação de SV/ST igual a 0,76, menor do que a 0,81 encontrada por Okoroigwe, Ibeto e Okpara, (2010). Os valores apontam para uma elevada biodegradabilidade dos resíduos, o que pode contribuir com a produção de biogás em processo anaeróbios (Okoroigwe, Ibeto e Okpara, 2010). Soto et al. (2022) ao caracterizarem as fezes caninas de um canil no Chile, observaram valores de 5,8 e 1330 mg.kg<sup>-1</sup> para o pH e a amônia, respectivamente. Também encontraram 3,17%, 8,7%, 0,43% e 0,54% para nitrogênio total, fósforo, potássio e sódio, respectivamente. A relação C/N encontrada pelos autores (C/N = 12,4) foi menor do que a obtida por Okoroigwe, Ibeto e Ezema (2014) para as fezes de uma unidade canina na Nigéria (C/N = 17), e maior que o valor observado por Martínez Sabater (2019) de fezes caninas coletadas de uma instituição de proteção aos animais na Espanha (C/N = 8,8). Observa-se que os valores desta relação são muito variáveis.

Na Tabela 2 são apresentadas as características químicas usuais de esterco de animais usuais na agropecuária, como bovinos, ovinos, suínos e galináceos. Tem-se valores de potássio variando de 0,8 a 4,8%, enquanto o nitrogênio e o fósforo total variam de 1,7 a 7,8% e 0,3 a 2,3%, respectivamente. O sódio, cobre e manganês são elementos que se encontram em menores concentrações se comparados com os demais elementos mencionados, tendo variação de 0,07 a 0,85%, 16 a 105 mg.kg<sup>-1</sup> e 23 a 333 mg.kg<sup>-1</sup>, nesta ordem.

Tabela 2 – Característica química média do esterco de animais da agroindústria

Parâmetro	Faixa usual
Nitrogênio (%)	1,7 - 7,8
Fósforo total (%)	0,3 - 2,3
Cálcio (%)	0,3 - 8,1
Magnésio (%)	0,29 - 0,63
Potássio (%)	0,8 - 4,8
Sódio (%)	0,07 - 0,85
Cobre (mg.kg <sup>-1</sup> )	16 – 105
Manganês ( mg.kg <sup>-1</sup> )	23 – 333

Fonte: National Research Council, 1996.

Nutrientes como carbono, nitrogênio e fósforo têm efeitos significativos na degradação anaeróbia de resíduos orgânicos. Para suprir as necessidades de nutrientes (nitrogênio e fósforo) das bactérias anaeróbias, o resíduo deve conter estes componentes nas relações de C/N  $\leq$  30 e C/P  $\leq$  150. O sódio, potássio, cálcio e magnésio também são nutrientes estimulantes na digestão anaeróbia, porém em concentrações muito elevadas podem ter efeito inibitório. As concentrações estimulantes para a digestão anaeróbia são de 100 a 200 mg.l<sup>-1</sup> (Na), 200 a 400 mg.l<sup>-1</sup> (K), 100 a 200 mg.l<sup>-1</sup> (Ca) e 75 a 150 mg.l<sup>-1</sup> (Mg) (McCarty, 1964).

O sódio (Na<sup>+</sup>) é um elemento encontrado nas rações dos cães, e posteriormente nas suas fezes. Alvarenga et al. (2018) e Monti et al. (2016) encontraram valores de cloreto de sódio variando de 0,46 a 0,5% na composição total das rações de cães, as quais são superiores às encontradas na alimentação humana (valor médio de 0,33%) (Salas et al., 2009). Para a condutividade elétrica, a qual pode ser avaliada de forma conjunta com os níveis de sódio, os valores nas fezes de cachorro, fezes de gado e resíduos de poda urbana, foram de  $8,8 \pm 0,43$  dS<sup>-1</sup>,  $3,96$  dS<sup>-1</sup> e  $3,69 \pm 0,01$  dS<sup>-1</sup>, respectivamente, observando valores mais significantes para as fezes de cães (Martinez-Sabater, 2019; Nahidan e Ghasemzadeh, 2002).

### 3.2. Caracterização biológica

Observa-se que as fezes caninas contêm patógenos e parasitas como *Salmonella*, *Escherichia coli* (Campigotto, 2021), *Campylobacter*, bactéria resistente a alguns antibióticos (Londe-Paul, 2018), *Giardia spp.*, *Cryptosporidium spp.* e *Cystoisospora* (Rahin et al., 2018), sendo os protozoários e helmintos intestinais e nematóides respiratórios os mais comuns na população canina (Scaramozzino et al., 2018). A *E. coli* é considerada um organismo natural do trato intestinal de humanos e animais.

Scaramozzino et al., 2018, concluíram em seu estudo que a composição de helmintos e protozoários em abrigos e cães domésticos pode ser diferente, sendo os parasitas mais comuns aqueles com ciclos de vida diretos. Os helmintos se apresentaram mais frequentes que os protozoários (prevalência total: 29,1% e 10,7%, respectivamente). Por sua vez, Johnson, Stell e Delavari, 2001 correlacionaram as cepas caninas positivas de *E. coli* com as de pacientes humanos com cistite, pielonefrite, bacteremia ou meningite neonatal. Testaram a hipótese de que cães podem ser um transmissor de *Escherichia coli* patogênica extra-intestinal (ExPEC), concluindo que as fezes caninas (e, por extensão, cães) são como um reservatório de *E. coli* patogênica para humanos, indicando a necessidade de estudos epidemiológicos para avaliar as taxas de transmissão e os riscos associados à saúde humana.

Os cães domésticos ou abandonados, ao defecar em áreas urbanas, podem contaminar o solo com parasitas, que por sua vez, podem acarretar na transmissão de doenças para o ser humano e para outros cachorros. Devido ao seu estilo de vida, os cães abandonados têm um maior potencial de contaminação que os cães domésticos (Traversa et al., 2017).

### 3.3. Destinação e tratamento

A poluição fecal canina e os problemas sanitários associados a ela vêm sendo considerados, nos últimos anos, como um problema de saúde pública. O tratamento das fezes caninas se faz necessário para a diminuição do risco de contaminação do solo, dos recursos hídricos e de danos à saúde pública. Porém, atualmente não existe nenhuma política pública acerca de um tratamento e manejo específico para as fezes de cães no Brasil (Simonato et al., 2019).

As fezes caninas têm três destinos mais comuns: (i) descarte no lixo comum, tendo o aterro sanitário como destino final (Gerba et al., 2011), (ii) o lançamento na rede de esgoto doméstico, chegando a corpos d'água ou estações de tratamento de esgoto (O'keefe' et al.,

2005), e (iii) descarte diretamente no solo, como em parques, praias e ruas (Simonato et al., 2019). Por ser uma preocupação mais recente, muitos municípios possuem a dificuldade de definir o correto destino das fezes caninas. O destino correto das fezes caninas ainda é muito questionado. O descarte no lixo comum, isto é, aqueles feitos em lixeiras de parques, das ruas e do próprio domicílio não é o mais recomendado por muitos municípios (Lei Complementar 094/2001; Lei nº 8565 de 13 de maio de 2003) por aumentar a sobrecarga de resíduos dos aterros sanitários que já estão saturados.

Do mesmo modo, o destino nas redes de esgoto, por meio de vasos sanitários e ralos, sobrecarrega o sistema de tratamento de esgoto sanitário, além de aumentar o consumo de água potável ao dar descarga (Bazzarella, 2005). No ano de 2003 na cidade de Ottawa, Canadá, houve uma emenda no estatuto da cidade que proibia o destino das fezes caninas nas lixeiras da cidade, sendo necessário, o recolhimento e transporte das fezes para o vaso sanitário. Porém, essa ação trouxe alguns problemas, como a falta de adesão da população, e conseqüentemente o crescimento do número de fezes abandonadas nas ruas e praças da cidade, e o aumento do uso da água devido a mais descargas, além da sobrecarga da rede de esgoto, aumentando a carga poluidora da mesma (Taylor, 2004). O descarte diretamente no solo pode acarretar em seu risco de contaminação, dos recursos hídricos e de danos à saúde pública (Simonato et al., 2019).

O tratamento descentralizado das fezes caninas é uma alternativa estratégica de interessante. A digestão anaeróbia (DA) pode ser considerada como um tratamento atrativo para as fezes desses animais. Por ser um processo que traz diversos benefícios ambientais e econômicos, como a geração de biogás e biofertilizante rico em nitrogênio e fósforo, a popularidade de sistemas que empregam a digestão anaeróbia vem crescendo. A DA representa uma alternativa sustentável, ecológica para o gerenciamento das fezes dos cães, focando-se no seu aproveitamento e economia circular (Nascimento, 2020; Rosa et al., 2016).

### **3.4. Digestão anaeróbia dos dejetos caninos e recuperação de recursos**

Além dos três descartes mais comuns das fezes caninas, apresentados no item 2.2, existem outras formas de dispor as fezes caninas, que são os tratamentos como a compostagem e a digestão anaeróbia (Martínez-Sabater et al. 2019). A digestão anaeróbia tem sido utilizada como tratamento de dejetos de animais, com benefícios ambientais e econômicos associados, como a geração de biogás e biofertilizante, representando uma alternativa sustentável, ecológica e circular para o gerenciamento das fezes dos cães. Porém,

ainda pouco se sabe sobre a viabilidade de produção de metano e fertilizante a partir da digestão anaeróbia das fezes de cães (Do et al., 2022; Nascimento, 2020).

Fezes de suínos e bovinos são muitas vezes empregados na digestão anaeróbia para tratamento e aproveitamento energético. O estrume das vacas, por exemplo, é usualmente tratado pela co-digestão com outros resíduos, uma vez que essa produção é consideravelmente baixa (Okoroigwe, Ibeto e Okpara, 2010). Phetyim et al. (2015) ao avaliarem a taxa de carregamento mais aplicável em relação a diferentes porcentagens de fezes de cães e esterco de gado, concluíram que a maior porcentagem de dejetos de cachorros analisada no estudo (20%), promoveu um aumento no teor de metano e redução nos teores de sulfeto de hidrogênio no biogás. Okoroigwe, Ibeto e Okpara (2010) estudaram a viabilidade dos dejetos de cães como matéria-prima principal para a produção de biogás. Neste estudo, enfatizam que o potencial de geração de biogás variou de acordo com a biomassa utilizada, acreditando que as excretas dos cães, além de serem uma fonte de biogás, funcionam também como catalisador para prolongar o tempo de retenção de outros dejetos, como grama e esterco de gado.

Martínez-Sabater et al. (2019) avaliaram a co-digestão das fezes caninas com podas urbanas (PU) e resíduos sólidos urbanos (RSU). No tratamento por digestão anaeróbia verificou-se que as fezes caninas geraram, separadamente, 229 ml de biogás/g de ST. Além disso, observaram que a co-digestão das fezes caninas com os demais resíduos acarretou em um aumento na eficiência do processo de até 27% em relação à monodigestão das fezes. E por fim, averiguou-se que misturas com maiores porcentagens de fezes de cães e podas aumentaram a riqueza do biogás.

Sanaye et al. (2002) estudaram a codigestão de lodo de esgoto com alguns co-substratos orgânicos como resíduos alimentares e esterco, utilizando a relação inóculo/substrato de 2:1. Por sua vez, Anuar et al. (2018) avaliaram a digestão anaeróbia de resíduos de decantação de uma fábrica de óleo de palma em diferentes razões inóculo/substrato de 1:1 e 2:1, a 38°C durante 10 dias, os valores de produção foram de 250 ml e 140 ml, respectivamente.

Por sua vez, a cidade de Waterloo, no Canadá, com aproximadamente 100 mil habitantes, tem de 40 a 80% das lixeiras municipais compostas por fezes de cachorro. A prefeitura distribuiu lixeiras próprias para o descarte unicamente das fezes caninas ao longo da cidade. Estes resíduos caninos são coletados e tratados por digestão anaeróbia, visando o aproveitamento energético e também o uso de fertilizante gerado (EBA, 2023). Somado a isso, o canil Salatino possui um biodigestor onde é destinado os resíduos caninos. No

biodigestor também são gerados biogás e fertilizante. Este canil possui aproximadamente 80 cães, pesando em média 3 quilos cada (Taylor, 2004).

A digestão anaeróbia pode ser uma alternativa interessante para o tratamento das fezes caninas, pois além de possuir estudos positivos em relação a este tratamento, a mesma gera insumos como o biogás e o biofertilizante que podem servir como fonte de renda e energia alternativa para os abrigos de animais, canis públicos e particulares, que possuem uma infraestrutura precária e baixo investimento.

### **3.5. Legislação**

#### **3.5.1. Destinação das fezes caninas**

A Resolução CONAMA nº 357/2005 dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. Desta forma, qualquer efluente só pode ser lançado no meio ambiente, de forma direta ou indireta, dentro dessas normas. Complementando esta lei, a CONAMA nº 430/2011 dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes. Por sua vez, a Lei nº 9.433/1997, conhecida como Lei das águas, institui a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (Singreh). A COPAM-CERH/MG nº 8, de 21 de novembro de 2022 dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Por fim, a Lei nº 12.305/2010 institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, sendo fundamental para o gerenciamento de resíduos e na conscientização sobre os impactos nocivos que eles provocam no meio ambiente. Atualmente, não existe uma legislação federal ou estadual específica para o tratamento de destinação das fezes caninas. Como discutido no item anterior, as fezes caninas acabam sendo destinadas ao aterro sanitário como destino final, ao esgotamento sanitário ou diretamente ao solo. Sabe-se que todas as alternativas geram impactos socioambientais (Gerba et al., 2011; O'keefe, et al., 2005; Simonato et al., 2019).

Alguns municípios possuem legislações próprias para o correto descarte das fezes caninas. A Lei Complementar 094/2001 do município de Florianópolis, dispõe sobre o controle e proteção de populações animais, bem como a prevenção de zoonoses. O Art. 14º da lei, afirma que “É de responsabilidade dos proprietários, a manutenção dos animais em perfeitas condições de alojamento, alimentação, saúde e bem-estar, bem como as providências

pertinentes a remoção dos dejetos por eles deixados nas vias públicas”. Por sua vez, a Lei nº 10.534, de 10 de setembro de 2012, dispõe sobre a limpeza urbana, seus serviços e o manejo de resíduos sólidos urbanos no município de Belo Horizonte. No capítulo XIV das disposições gerais, artigo 70, afirma que “o proprietário, o responsável ou o condutor de animal deverão proceder à limpeza, acondicionamento e remoção imediata dos dejetos do animal depositado em logradouro público, mesmo que esteja sem guia ou coleira”, e continua “os dejetos de animais poderão ser dispostos na rede primária do sistema de esgoto sanitário local ou encaminhados para os serviços regulares de coleta e transporte de resíduos sólidos domiciliares, desde que devidamente acondicionados e em conformidade com as normas técnicas da Superintendência de Limpeza Urbana de Belo Horizonte (SLU)”.

A Lei nº 8565 de 13 de maio de 2003 dispõe sobre o controle da população de cães e gatos e dá outras providências para o município de Belo Horizonte. O artigo 30 desta lei estabelece que “o proprietário do cão e gato é responsável por manter estes animais em condições adequadas de alojamento, alimentação, saúde, higiene e bem-estar, e pela destinação adequada dos dejetos”, podendo resultar em multa com o seu descumprimento. A NBR 10004 define os resíduos sólidos como “resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição.” A mesma classifica os resíduos sólidos perigosos quanto a sua patogenicidade aquele “se uma amostra representativa dele, obtida segundo a ABNT NBR 10007, contiver ou se houver suspeita de conter, microorganismos patogênicos, proteínas virais, (...) ou toxinas capazes de produzir doenças em homens, animais ou vegetais”.

Foi discutido no item 1.3.2. deste documento, as características biológicas das fezes caninas. Assim como descartar as fezes caninas no lixo comum, diminuir a vida útil dos aterros sanitários, dispor as fezes caninas como resíduo perigoso é inviável financeiramente. A prefeitura de Florianópolis, capital de Santa Catarina, orienta que as fezes caninas sejam dispostas na rede de esgoto por meio do descarte no vaso sanitário ou em ralos no caso de canis (Prefeitura de Florianópolis). Porém, esta forma de disposição além de aumentar o consumo de água potável, também sobrecarrega o sistema de tratamento de esgoto sanitário (Bazzarella, 2005).

Sendo assim, não existe uma legislação específica para o correto gerenciamento, tratamento e disposição das fezes caninas. Porém, alguns municípios, percebendo a importância do correto manejo e gestão destes resíduos, estabeleceram seus próprios critérios. Sabendo-se dos impactos que as fezes caninas podem causar quando não gerenciadas corretamente, o estabelecimento de uma legislação geral que institua aos municípios a

obrigatoriedade de um destino adequado destes resíduos deveria existir, deixando livre a escolha deste tratamento ao que melhor couber a cada município.

### 3.5.2. Reuso agrícola de efluentes caninos

As normas de fertirrigação com efluentes animais variam de acordo com o país ou região. Em geral, o uso de efluentes animais para fertirrigação está sujeito a normas que visam prevenir potenciais riscos à saúde e poluição ambiental, sendo estabelecidos alguns critérios de qualidade para o reuso agrícola. As diretrizes adotadas nos Estados Unidos da América e pela OMS (Organização Mundial da Saúde) são referência para diversos países. Segundo a OMS, o nível de DBO em águas residuárias utilizadas para irrigação não deve exceder 500 mg.l<sup>-1</sup> (OMS, 2006). A USEPA (United States Environmental Protection Agency) regulamenta o uso de resíduos animais como fertilizante sob a Lei de Água Limpa e exige que o efluente seja tratado para reduzir patógenos e outros contaminantes antes de ser aplicado nas lavouras. A agência também estabelece padrões para a quantidade de nutrientes que podem ser aplicados às culturas para evitar a fertilização excessiva e reduzir o risco de escoamento de nutrientes nos cursos d'água. De acordo com a USEPA, o teor de ST nos resíduos animais utilizados na irrigação não deve exceder 5%. A mesma tem um nível de exigência alto (Tabela 4), exigindo-se, em qualquer situação, para a irrigação irrestrita ou por aspersão um padrão de qualidade de efluentes semelhante ao padrão de potabilidade da água (ausência de coliformes e -1 organismos patogênicos, turbidez 2 uT e cloro residual 1 mg L) (Florencio, Bastos e Aisse, 2006).

Tabela 3 – Diretrizes da USEPA para o uso agrícola de esgotos sanitários

Tipos de uso	Tratamento	Critério de qualidade do efluente
Culturas alimentícias não processadas comercialmente; Irrigação superficial ou por aspersão de qualquer cultura, incluindo culturas a serem consumidas cruas.	Secundário + filtração + desinfecção	pH 6 a 9; DBO $\leq 10 \text{ mg.l}^{-1}$ ; $< 2,2$ Coliformes fecais/100ml
Culturas alimentícias processadas comercialmente; Irrigação superficial de pomares e vinhedos; Sivicultura e irrigação de áreas com acesso restrito ao público	Secundário + desinfecção	pH 6 a 9; DBO $\leq 30 \text{ mg.l}^{-1}$ ; SST $\leq 30 \text{ mg.l}^{-1}$ ; 200 Coliformes fecais/100ml
Culturas não alimentícias; Pastagens para rebanhos de leite, forrageiras, cereais, fibras e grãos.	Secundário + desinfecção	pH 6 a 9; DBO $\leq 30 \text{ mg.l}^{-1}$ ; SST $\leq 30 \text{ mg.l}^{-1}$ ; $< 200$ Coliformes fecais.ml $^{-1}$

Fonte: Adaptado de USEPA (2004) e Bastos, (2003).

A Tabela 5 apresenta as diretrizes recomendadas pela OMS. Apesar de rigorosos em relação à remoção de helmintos, estes critérios omitem dados relativos a vírus e protozoários.

Tabela 4 – Diretrizes da OMS para o uso agrícola de esgotos sanitários (1989-2005)

Categoria	Tipos de uso	Helmintos (ovos.l <sup>-1</sup> )	Coliformes termo-tolerantes (org.100ml <sup>-1</sup> )	Tratamento
A	Culturas a serem consumidas cruas	≤ 1	≤ 1000	Lagoas de estabilização em série, ou tratamento equivalente em termos de remoção de patógenos
B	Culturas processadas industrialmente, cereais, forragens, pastagens, árvores	≤ 1	SR	Lagoas de estabilização com 8 a 10 dias em tempo de detenção ou remoção equivalente de helmintos e coliformes termo-tolerantes
C	Irrigação localizada de plantas da categoria B na ausência de riscos para os agricultores e público geral	NA	NA	Pré-tratamento de acordo com o método de irrigação, no mínimo sedimentação primária

Fonte: Adaptado Bastos, (2003).

A USEPA disponibiliza também critérios para a interpretar a qualidade da água para irrigação (Tabela 6).

Tabela 5 – Critérios de qualidade da água de irrigação

Parâmetros de restrição	Unidades	Grau de restrição de uso		
		Nenhum	Moderado	Severo
Salinidade (condutividade)	dS.m <sup>-1</sup>	0,7	0,7 - 3,0	>3,0
pH	-	<8,5	>8,5	-
Nitrogênio total	mg.l <sup>-1</sup>	<5	5 - 30	>30

Fonte: Adaptado de Bastos, (2003).

Outras diretrizes interessantes adotadas pelos Estados Unidos da América referentes à irrigação com resíduos agrícolas são o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos

(USDA) que fornece diretrizes para os níveis aceitáveis de DQO nos resíduos animais utilizados para a produção agrícola. Segundo o USDA, o nível de DQO nos resíduos animais usados para irrigação não deve exceder 2000 mg.l<sup>-1</sup> (USDA, 2016); A Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) forneceu orientações sobre a faixa de pH aceitável para a água de irrigação utilizada na produção de culturas. De acordo com a FAO, o pH da água de irrigação deve estar entre 6,0 e 8,0 (FAO, 2012); E a Administração de Alimentos e Drogas dos Estados Unidos (FDA) estabeleceu padrões para os níveis aceitáveis de E. coli na água de irrigação utilizada para a produção de culturas. De acordo com a FDA, o nível de E. coli na água de irrigação não deve exceder 126 UFC por 100 ml de água (FDA, 2019).

Além disso, os efluentes gerados por cães ainda são pouco conhecidos. A Resolução CONAMA 357 de 17 de março de 2005 classifica os critérios de qualidade da água para irrigação, porém não estabelece critérios específicos para águas de reuso. Por sua vez, a Resolução n° 121, de 16 de dezembro de 2010, do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) estabelece diretrizes e critérios para a prática de reuso direto não potável de água na modalidade agrícola e florestal, definida na Resolução CNRH no 54, de 28 de novembro de 2005, a fim de assegurar que a aplicação de águas residuárias na agricultura não cause riscos à saúde pública nem danos ao meio ambiente (CONAMA, 2005; CNRH, 2010).

De modo geral, as normas para fertirrigação com efluentes animais visam proteger a saúde humana e o meio ambiente, apoiando ao mesmo tempo uma agricultura sustentável. Antes de usar efluentes animais para fertirrigação, é importante familiarizar-se com os regulamentos e diretrizes locais, e implementar métodos apropriados de tratamento e manuseio para minimizar os riscos à saúde pública e ao meio ambiente.

## 4. AVALIAÇÃO DA BIODEGRADAÇÃO DE FEZES DE CÃES PELA DIGESTÃO ANAERÓBIA EM DIFERENTES FAIXAS DE TEMPERATURA

### 4.1. Introdução

Uma tendência de crescimento do número de animais domésticos tem sido notada em todo o mundo. De acordo com a Associação Brasileira da Indústria de Produtos para Animais de Estimação - ABINPET, o Brasil tem a terceira maior população mundial de animais de estimação, correspondendo a um total de 149,6 milhões de animais, destes, 58,1 milhões de cães (ABINPET, 2022). Além disso, o mercado Pet movimentou no ano de 2019, em todo o mundo, aproximadamente 131 bilhões de dólares, tendo o Brasil um destaque entre os cinco países com maior representatividade, equivalente a 0,30% do PIB nacional neste ano, superando outros importantes setores, tais como o de automação industrial, com apenas 0,08% (IPB, 2020). Em contrapartida, existem ainda cerca de 20 milhões de cães abandonados no país (Oliveira, 2022), sendo que os canis são facilitadores no cuidado e adoção de parcela destes animais. Via de regra, os custos de manutenção dos canis são elevados o que limita investimentos no gerenciamento dos resíduos gerados pelos animais (Arruda, 2019; Silva, 2015). Dentro deste contexto, em função da elevada geração deste resíduo, faz-se necessária a busca por estratégias para o seu melhor manejo e favorecimento das condições de saneamento nas cidades. Arruda, 2019; IPB, 2020).

A geração de fezes caninas varia, em especial com o porte do animal. Taylor (2004) estima uma geração de fezes de 0,34 kg.animal-1.dia-1, para cães de grande porte, enquanto Martinez-Sabater (2019) estima um valor de 0,14 kg.animal-1.dia-1 para cães de pequeno porte. As fezes caninas são um resíduo de fácil biodegradabilidade, com elevada concentração de nitrogênio, além de presença de patógenos como Salmonella, Escherichia coli, Giardia spp., as quais podem causar doenças quando descartadas de forma inadequada (Campigotto, 2021). No Brasil não há diretrizes que orientem quanto ao gerenciamento das fezes caninas. Estima-se uma geração diária no país da ordem de 13,9 mil toneladas de fezes caninas. Quando a coleta dos resíduos é integrada aos resíduos orgânicos, seja a partir da geração nos canis ou dos animais em domicílio, as fezes caninas não tratadas acabam sendo destinadas ao aterro sanitário, incorporadas ao sistema de esgotamento sanitário ou dispostas diretamente no solo; alternativas associadas a impactos ambientais negativos (Gerba et al., 2011; O'keefe, et al., 2005; Simonato et al., 2019).

Em locais onde se possui o gerenciamento dos dejetos de cães, a incineração e a compostagem são as alternativas mais usuais de destino dos resíduos, porém, ambas possuem limitações (Inciner8, 2023 e Beco, 2023). A incineração é uma alternativa que necessita de uma fonte de energia, normalmente proveniente de combustíveis fósseis, o que pode contribuir para emissões de gases de efeito estufa e a poluição do ar. Além disso, a instalação e a manutenção de um incinerador podem ser caras, especialmente para pequena escala, sendo mais viável para plantas em grande escala (Meththika Vithanage et al., 2021). Por sua vez, a compostagem pode não eliminar efetivamente todos os patógenos presentes nas fezes dos cães, limitando seu uso como adubo em plantações de alimentos. Além disso, se não for gerenciada corretamente, a compostagem das fezes caninas pode produzir odores e atrair pragas, como moscas e roedores. Por fim, o processo demanda tempo, garantia de condições de degradação (pH, umidade, granulometria, relação C/N), e manutenção adequada, incluindo revolvimento regular e monitoramento da temperatura (Chang, J., Tsai, J. J. e Wu, K. H., 2005).

Nesse contexto, a digestão anaeróbia (DA) é uma alternativa promissora para o tratamento das fezes caninas, por ser um processo biológico que traz benefícios ambientais e econômicos, como a geração de biogás e de digestato que pode ser utilizado como biofertilizante. Entretanto, são poucos os estudos existentes que avaliam a DA para fezes de cães. Phetyin et al. (2015) fizeram a co-digestão de fezes caninas e esterco de gado, concluindo que a presença de dejetos de cães melhorou a qualidade do biogás pelo aumento do teor de CH<sub>4</sub> e redução da concentração do H<sub>2</sub>S. Martínez - Sabater (et. al., 2019) atestaram que os resíduos caninos produziram um volume de biogás de 229 mL.g<sup>-1</sup>SV, assim como o aumento da produção de metano, na co-digestão das fezes caninas com resíduos de poda urbana. No entanto, esses estudos não consideraram diferentes condições que poderiam interferir na geração de metano, como por exemplo, a temperatura e a relação inóculo/substrato. Ainda não se reporta na literatura nenhum estudo que avalie a influência da temperatura no processo de DA de fezes caninas, em adição, há uma lacuna quando a estudos que avaliem a produção de metano e qualidade do digestato para uso como fertilizante (Phetyin et al., 2015 e Okoroigwe, Ibeto e Okpara, 2010).

A digestão anaeróbia pode ser realizada em diferentes condições de temperatura, como psicofílicas (10-20°C), mesofílicas (30-40°C) ou termofílicas (50-60°C). Geralmente, a digestão mesofílica é mais usual por requerer menos energia e ser mais estável (Wu et. al., 2023). Porém, temperaturas termofílicas possuem a vantagem de garantir uma maior remoção de patógenos, o que o tornaria apto para uso como fertilizante. Ademais, possuem taxas de

reação biológica e químicas mais elevadas, tempo de retenção reduzido e uma maior solubilidade de compostos orgânicos. As temperaturas termofílicas estão associadas a maiores taxas de hidrólise, maior produção de biogás e a remoção de sólidos voláteis (Ahmed, 2021; Zhang et al., 2021).

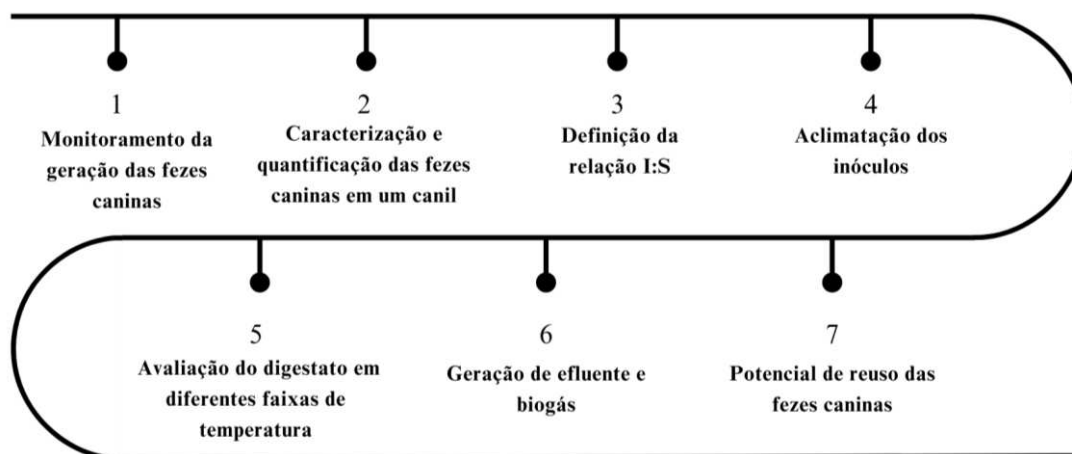
Uma maior compreensão dos aspectos relacionados à influência da temperatura da DA poderia contribuir com um melhor gerenciamento deste resíduo, assim como na recuperação dos subprodutos (biogás e digestato) para usos mais nobres, sendo uma importante contribuição para o conceito de economia circular, assim como na recuperação de recursos. Para tanto, os objetivos deste trabalho foram: (i) caracterizar e quantificar a geração de fezes caninas em um canil; (ii) avaliar a biodegradação dos resíduos de fezes de cães pela digestão anaeróbia em diferentes faixas de temperatura, assim como a produção de biogás a partir de diferentes condições de inóculo/subtrato; (iii) relacionar a qualidade do digestato com a qualidade requerida para aplicação agrícola; (iv) reportar quais modelos cinéticos melhor se ajustam aos dados de produção de biogás a partir dos estudos de biodegradabilidade; (v) apresentar e discutir a partir dos resultados obtidos o gerenciamento integrado das fezes de cães pelo uso da DA.

#### **4.1. Material e Métodos**

A pesquisa foi dividida em duas etapas: 1. Caracterização e quantificação das fezes caninas em um canil; 2. Estudo da biodegradabilidade das fezes caninas sob diferentes condições de temperatura, a partir do emprego da digestão anaeróbia, assim como a avaliação da qualidade final do digestato.

A Figura 1 apresenta o detalhamento das etapas do estudo.

Imagem 1 – Fluxograma do projeto: Etapas 1 e 2.



#### 4.1.1. Local de estudo

A caracterização e quantificação das fezes caninas foi realizada em um canil particular do município de Viçosa (20°42'01"S e 42°52'04"O) (Minas Gerais, Brasil). O canil é mantido por uma voluntária que reside no local e acomoda 82 animais, sendo 65 cães e 17 gatos. Os cães são, em sua maioria, animais sem raça definida (vira latas) com idade superior a 9 anos. Os animais são alimentados diariamente com ração (12 kg da marca Lester) e alimentos preparados (3 kg de arroz com legumes e fígado cozido), totalizando 15 kg de alimentação diária. O número de cães no canil é variável, em função da adoção e morte dos animais. Os cães ficam confinados dentro da residência local ou ficam soltos no pátio do abrigo. A alocação dos animais é realizada de acordo com critérios, tais como porte do animal, processo de adaptação, necessidade de isolamento, idade, dentre outros. Na Figura 2 é possível observar as instalações dos animais no canil.

Imagem 2 – Animais nas instalações do abrigo, (a): parte interna do alojamento e (b): pátio do abrigo.



Os dejetos dos cães são coletados diariamente de forma manual sem o uso de água, e acondicionados em um saco plástico e dispostos em um latão até serem coletados pelo caminhão de lixo. Após a coleta das fezes é feita a limpeza do local com água e produtos de limpeza (água sanitária). O efluente é encaminhado diretamente para os ralos, não havendo nenhum tipo de tratamento antes do lançamento à rede de esgoto municipal.

#### 4.1.2. Local de estudo

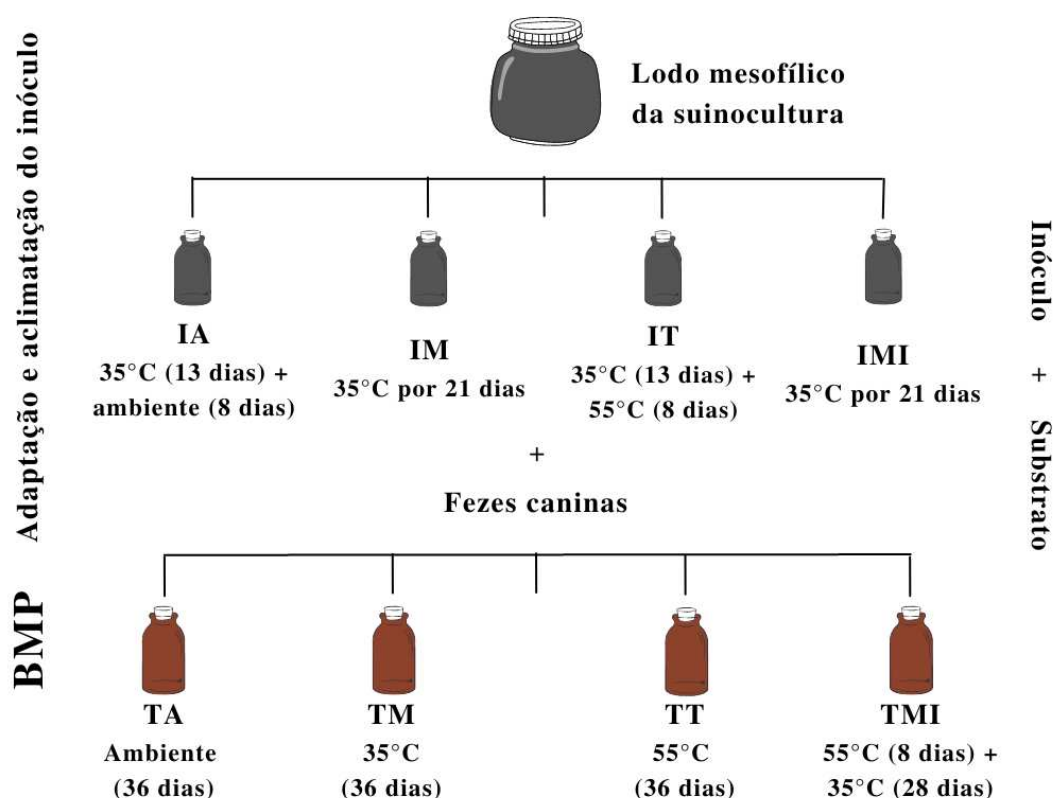
O monitoramento da geração de fezes caninas no canil ocorreu no período de 30 dias (15/04/22 a 14/05/22). Para o levantamento da geração de fezes caninas, todo o material foi integralmente coletado ao longo dos dias, manualmente, às 9 horas e pesado em uma balança digital, a fim de se determinar a geração diária de dejetos por animal. A coleta das fezes caninas para fins de caracterização foi realizada a partir de uma amostragem composta advinda das fezes de animais distintos, sendo o material na sequência armazenado em recipientes de plástico e refrigerado/congelado até as análises laboratoriais. A fezes foram caracterizadas em termos de pH, condutividade elétrica, alcalinidade, sólidos totais, sólidos fixos, sólidos voláteis, DQO e DBO, NTK, nitrogênio total, fósforo, potássio, sódio, manganês, cobre, coliformes e E.coli.

#### 4.1.3. Estudos de biodegradabilidade das fezes caninas

Os estudos de biodegradabilidade das fezes caninas foram separados em duas partes:

1. definição da relação inóculo:substrato (I:S), por meio da digestão anaeróbia das fezes caninas em três proporções.
2. Avaliação da biodegradabilidade das fezes caninas em diferentes temperaturas, por meio da digestão anaeróbia na temperatura ambiente (TA), temperatura mesofílica (TM), temperatura termofílica (TT) e mista (TMI), conforme detalhado na Figura 3, onde são ainda definidos um esquema da adaptação e aclimação dos inóculos, seguida da digestão anaeróbia sobre as diferentes condições de temperatura.

Imagem 3 – Esquema da aclimação do inóculo para os 4 diferentes tratamentos. IA: inóculo adaptado para uso no TA; IM: inóculo adaptado para uso no TM; IT: inóculo adaptado para uso no TT; IMI: inóculo adaptado para uso no TMI



#### 4.1.3.1. Definição da relação I:S

Inicialmente, foram testadas três razões inóculo-substrato (I:S), 2:1 (mistura 1), 1:1 (mistura 2) e 1:2 (mistura 3). O inóculo utilizado neste estudo foi o lodo anaeróbio originado do biodigestor que recebe dejetos de suínos, instalado na Unidade de Ensino, Pesquisa e Extensão em Suinocultura do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa (UFV). O substrato utilizado no experimento da digestão anaeróbia foram as fezes de cães, coletadas no canil particular em estudo no dia 15 de junho de 2022. A biodegradabilidade anaeróbia dos substratos foi avaliada a partir de testes de Potencial Bioquímico de Metano (PBM), realizados em quadruplicata, seguindo as diretrizes de Xie, Wickham e Nghiem (2017). Os testes para avaliar a melhor relação I:S foram realizados em condições mesofílicas (35°C). O experimento foi realizado em frascos de penicilina de 120 mL com volume útil de 60 mL, composto pela mistura de inóculo, substrato e água, com concentração de 5 gSV.L<sup>-1</sup> (Tabela 8). Os frascos foram purgados com nitrogênio por 30 segundos, e selados com uma rolha de borracha presa com lacre de alumínio (Silva, Morais e Rocha, 2016). O monitoramento do comportamento da produção diária de gás no teste de PBM foi realizado até que a produção diária fosse igual a 1% da produção total, conforme reportado em Holliger et al. (2016), o que foi observado aos 43 dias do experimento. A produção de biogás foi determinada pela pressão do gás acumulado nos frascos, medida com manômetro digital (Equação 1 e 2). Para manter a temperatura mesofílica de 35°C os frascos foram mantidos em banho maria, por meio de um termostato com sensor de temperatura de 230V acoplado em um tanque de polietileno.

$$P_{ml} = 65 \left( \frac{P_{mbar} - N_{21}}{101,325} * \frac{273,15}{P_{vH_2O} + 273,15} \right) \quad \text{Eq.(1)}$$

Em que  $P_{ml}$  é a pressão obtida em mililitros (ml),  $P_{mbar}$  é a pressão obtida em mbar, e  $P_{vH_2O}$  é a pressão volumétrica da água.

$$P_{mL.g^{-1}SV} = \frac{P_{ml}}{g_{SV.frasco^{-1}}} \quad \text{Eq.(2)}$$

Em que,  $P_{mL.g^{-1}SV}$  = Pressão obtida em miligramas por gramas de sólidos voláteis ( $mL.g^{-1}SV$ ), e  $g_{SV.frasco^{-1}}$  = gramas de sólidos voláteis de fezes caninas inseridas no frasco do tratamento BPM.

A indicação da melhor proporção I:S foi avaliada como aquela que gerou o maior volume de biogás acumulado.

Tabela 8 – Montagem dos testes de BPM - Proporção de substrato, inóculo e água utilizados nos tratamentos

Elementos	2:1		1:1		1:2	
	T	C	T	C	T	C
Substrato (g)	1,308	0	1,308	0	2,616	0
Inóculo (g)	18,571	19,571	9,785	9,785	9,785	9,785
Água (g)	39,121	40,429	48,906	50,214	47,598	50,214

\*T: tratamento; C: controle; I:S = Inóculo:Substrato

#### 4.1.3.2. Digestão aneróbia em diferentes faixas de temperatura

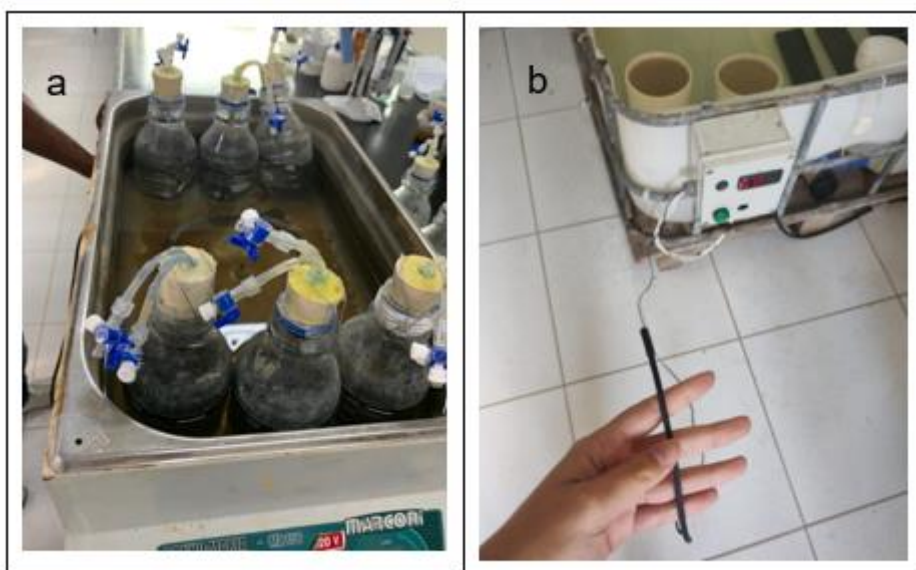
De posse da relação I:S advinda dos testes preliminares, realizou-se os ensaios de biodegradabilidade das fezes caninas sobre diferentes condições de temperatura, a saber: (i) ambiente em temperatura ambiente variando de 17 a 22°C (TA); (ii) mesofílica a 35°C (TM); (iii) termofílica a 55°C (TT) e (iv) misto a 55°C nos primeiros 8 dias e a 35°C até o final da digestão anaeróbia (TMI).

O lodo anaeróbio utilizado neste estudo foi originado do biodigestor mesofílico que recebe dejetos de suínos, instalado na Unidade de Ensino, Pesquisa e Extensão em Suinocultura do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa (UFV). Por sua vez, o substrato utilizado no experimento da digestão anaeróbia foram as fezes de cães, coletadas no canil particular em estudo no dia 29 de agosto. Após transportados, o inóculo e o substrato foram caracterizados e armazenados à temperatura de 4° C, até a realização dos testes de biodegradabilidade (PBM). O inóculo foi caracterizado em termos de pH, alcalinidade, sólidos totais, sólidos fixos, DQO e DBO e as fezes caninas em termos de pH, condutividade elétrica, alcalinidade, sólidos totais, sólidos fixos, sólidos voláteis, DQO e DBO, NTK, nitrogênio total, fósforo, potássio, sódio, manganês, cobre, coliformes e E.coli.

A aclimação do inóculo seguiu as diretrizes de Ortega et al. (2008). O inóculo coletado foi dividido para os quatro ensaios de biodegradabilidade (tratamentos) que variaram de acordo com a temperatura. Os inóculos mesofílicos (IM) e misto (IMI) foram mantidos em condição mesofílica durante toda a adaptação, enquanto os inóculos ambiente (IA) e termofílico (IT) foram submetidos a condições mesofílicas durante os 13 primeiros dias. Após este período, IA e IT foram então aclimatados em temperatura ambiente e termofílica, respectivamente.

O controle da temperatura termofílica foi realizado por meio de um aparelho de banho-maria de 220V da marca Marconi (Figura 4a), enquanto o mesofílico foi realizado por meio de um termostato com sensor de temperatura de 230V acoplado em um tanque de polietileno (Figura 4b). Os IA ficaram expostos na bancada do laboratório, variando-se sua temperatura conforme a temperatura do ambiente, sendo o único tratamento não imerso em água.

Figura 4 – Controle de temperatura: a) banho-maria; b) termostato com sensor de temperatura



A biodegradabilidade das fezes caninas para os tratamentos foi avaliada pela determinação do potencial bioquímico de metano (PBM). Os experimentos foram realizados em escala experimental, com a mono-digestão das fezes caninas em reator em batelada. O experimento foi conduzido em frascos de penicilina de 500 mL com volume útil de 400 mL. Os frascos foram vedados com uma rolha de borracha, onde foi instalado um mecanismo de entrada e saída de ar por meio de mangueiras (Figura 5). Para a montagem do BPM (Tabela 9)

foram estabelecidas as proporções de I:S de 1:1, conforme os testes preliminares do item 1.2.3.1.

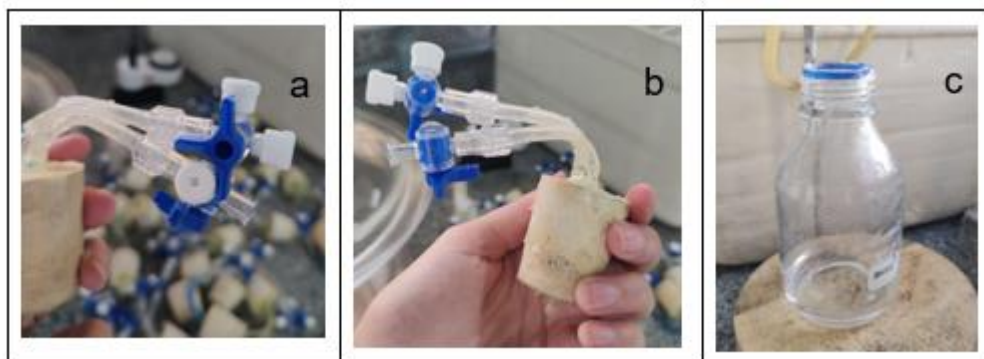
Tabela 9 – Montagem dos testes de BPM - Proporção de substrato, inóculo e água utilizados nos tratamentos

Elementos	Ambiente		Mesofílico		Termofílico		Misto	
	TA	CA	TM	CM	TT	CT	TMI	CMI
Substrato (g)	6,98	0	6,98	0	6,98	0	6,98	0
Inóculo (g)	43,81	43,81	47,76	47,76	60,67	60,67	48,69	48,69
Água (g)	349,21	356,19	345,26	352,24	332,35	339,33	344,33	351,31

\*TA: tratamento ambiente; TM: tratamento misto; TT: tratamento termofílico; TMI: tratamento misto; CA: controle do tratamento ambiente; CM: controle do tratamento misto; CT: controle do tratamento termofílico; CMI: controle do tratamento misto.

Cada tratamento foi realizado em quadruplicata. Os frascos foram purgados com nitrogênio por 30 segundos, e depois selados com uma rolha de borracha presa com arame (Silva, Morais e Rocha, 2016). A produção de biogás foi determinada pela pressão do gás acumulado nos frascos (método manométrico). A cada leitura da pressão, uma camada de silicone acético (UNIPEGO) foi colocada sobre o lacre dos frascos para garantir a estanqueidade do sistema. Inicialmente, a medição de biogás aconteceu diariamente durante 5 dias, e posteriormente alternando-se os dias, de acordo com a taxa de crescimento da produção de biogás. O experimento foi finalizado quando a produção diária de gás correspondeu a 1% da produção total, conforme reportado em Holliger et al. (2016), o que foi observado após 36 dias. As temperaturas foram controladas conforme o detalhamento descrito no item 1.2.3 (Figura 5).

Figura 5 – a) Sistema de entrada e saída de gás; b) Rolha de borracha usada para vedar o sistema; c) Frasco utilizado no tratamento



A caracterização do biogás em termos de metano ( $\text{CH}_4$ ) foi realizada por meio de um cromatógrafo gasoso (gilent Technologies GC 2014, Shimadzu Corporation) equipado com detector de condutividade térmica (TCD) e detector de ionização de chama (FID). Ao final da digestão anaeróbia, o digestato dos tratamentos foi caracterizado em termos de pH, alcalinidade, condutividade elétrica, sólidos totais, sólidos fixos e sólidos voláteis, DQO, DBO, fósforo, sódio, potássio, nitrogênio total, NTK, cobre, manganês, coliformes e Ecoli.

O Potencial de Biometano Teórico Máximo ( $\text{BPM}_{\text{Tmax}}$ ) e a biodegradabilidade (Biod) foram calculados conforme as Equações (3) e (4) (RAPOSO et al., 2011).

$$\text{BPM}_{\text{Tmax}} (\text{mL}_{\text{CH}_4} \cdot \text{g}_{\text{SV}}^{-1}) = \frac{\text{g}_{\text{DQO}}}{\text{g}_{\text{SV}}} \cdot 350 \frac{\text{mL}_{\text{CH}_4}}{\text{g}_{\text{DQO}}} \quad \text{Eq.(3)}$$

$$\text{Biod} (\%) = \frac{\text{BPM} (\text{mL}_{\text{CH}_4} \cdot \text{g}_{\text{SV}}^{-1})}{\text{BPM}_{\text{Tmax}} (\text{mL}_{\text{CH}_4} \cdot \text{g}_{\text{SV}}^{-1})} \cdot 100 \quad \text{Eq.(4)}$$

Em que,  $\text{g}_{\text{DQO}}$  e  $\text{g}_{\text{SV}}$  são a concentração de DQO e SV por unidade de volume do substrato, respectivamente,  $350 \text{ mL}_{\text{CH}_4} (\text{g}_{\text{DQO}})^{-1}$  é a relação estequiométrica de produção de metano, e  $\text{BPM} (\text{mL}_{\text{CH}_4} \text{ g}_{\text{SV}}^{-1})$  é a produção de metano obtida no experimento. O  $\text{BPM}_{\text{Tmax}}$  calculado representa a quantidade máxima teórica de metano que pode ser produzida a partir da matéria orgânica, não levando em conta os fatores que podem limitar a produção real de metano na prática, tais como digestão incompleta, inibição por substâncias tóxicas e perdas por volatilização (Angelidaki e Sanders, 2004).

#### 4.1.3.3. Potencial de energia

A partir do monitoramento da geração de fezes caninas de um canil analisado neste trabalho, foi possível calcular a média diária de geração de fezes caninas por animal. Levando-se em consideração os resultados encontrados na geração final de biogás e a montagem do BMP, foi possível estabelecer a potencial de produção de biogás unitário ( $Pbu$ ) como mostra a Equação 5.

$$Pbu = \frac{GF \cdot GB}{Qf_{BMP}} \text{ Eq. (5)}$$

Sendo,  $Pbu$  = potencial de produção de biogás unitário ( $m^3 \cdot g^{-1}_{sv} \cdot animal^{-1} \cdot d^{-1}$ );  $GF$  = geração de fezes caninas ( $g \cdot animal^{-1} \cdot d^{-1}$ );  $GB$  = geração acumulada de biogás ( $m^3 \cdot g^{-1}_{sv}$ ), e  $Qf_{BMP}$  a quantidade de fezes caninas inseridas na montagem do BMP (g).

Com o  $Pbu$  é possível calcular o potencial de produção de biogás para um canil com 65 cães.

O gerenciamento integrado a partir da DA das fezes de cães no canil foi avaliado a partir da caracterização das fezes caninas em termos de sólidos voláteis ( $g \cdot g^{-1}$ ), a geração acumulada de biogás ( $m^3 \cdot g^{-1}_{sv}$ ), o número de cães presentes no canil, e a geração de fezes caninas ( $g \cdot animal^{-1} \cdot d^{-1}$ ), por meio da Equação 6, conforme estabelecida por Aquino et al. (2020).

$$P_e = SV \cdot Pb \cdot N \cdot GF \cdot 34,5 \text{ MJN } m^3 \text{ CH}_4^{-1} \text{ Eq.(6)}$$

Sendo,  $P_e$  = produção de energia ( $MJ \cdot d^{-1}$ );  $SV$  = sólidos voláteis das fezes caninas ( $g \cdot g^{-1}$ );  $Pb$  = Produção unitária de biogás ( $m^3 \cdot g^{-1}_{sv}$ );  $N$  = número de cães do canil;  $GF$  = geração de fezes caninas ( $g \cdot animal^{-1} \cdot d^{-1}$ ) e 34,5 é o poder calorífico do metano.

Para estimar-se o requisito energético para o abastecimento diário de efluente canino a um biodigestor utilizou-se a Equação 7 (Uctug e Azapagic, 2021).

$$Q_a = V_a \cdot C_p \cdot \rho_a \cdot (T_q - T_f) \text{ Eq (7)}$$

Sendo,  $Q_a$  = a necessidade diária de energia para o abastecimento do biodigestor ( $kJ/d$ );  $V_a$  = necessidade diária de efluente ( $100 \text{ L/dia}$ );  $C_p$  = calor específico médio do efluen-

te (4,18 kJ/kg·°C);  $\rho_a$  = densidade média da água (1000 kg/m<sup>3</sup>);  $T_q$  = temperatura da água quente na saída do coletor (°C), e  $T_f$  = temperatura da água fria na entrada do coletor (°C).

Por fim, sabe-se que o metano puro, em condições normais de temperatura (0°C) e pressão (1 atm), possui poder calorífico de 9,9 kWh.m<sup>-3</sup>. Entretanto, quando o biogás apresenta um teor de metano entre 50 e 80%, seu poder calorífico diminui proporcionalmente, ficando entre 4,95 e 7,92 kWh.m<sup>-3</sup>, ou seja, em uma escala variando de 0 a 100%, a proporção entre 1% 1 kWh.m<sup>-3</sup> é de 10,10 (Lytras et.al., 2021).

#### 4.1.3.4. Métodos Analíticos

As análises de sólidos totais (ST), fixos (SF) e voláteis (SV), bem como a DQO total e a DBO foram determinadas conforme metodologia proposta por APHA (2017). O nitrogênio total foi analisado pelo método Semi-Micro-Kjeldahl. A alcalinidade total, parcial e intermediária foi determinada de acordo com Ripley et al. (1986).

#### 4.1.3.5. Análise estatística

De posse das curvas, os resultados obtidos para o rendimento de metano acumulado (BPM), após a estabilização da produção de cada um dos tratamentos foram submetidos ao programa R 4.0.2 (R core team, 2020) para serem comparados estatisticamente. Primeiramente, a normalidade dos dados foi avaliada pelo teste de Shapiro-Wilk, seguida pela análise de variância (ANOVA) conjunta. O teste de Tukey com nível de significância 5% foi utilizado para comparar a produção acumulada de biogás do substrato (fezes caninas) em diferentes temperaturas (ambiente, mesofílica, termofílica e mista). Parâmetros estatísticos como o desvio padrão dos tratamentos foram calculados levando em consideração os erros do inóculo e do próprio tratamento como sugerido por Hafner et al. (2020).

#### 4.1.3.6. Modelos cinéticos

O ajuste dos dados de produção de metano foi empregado para três modelos usualmente utilizados na modelagem cinética de metano acumulado, a saber: modelo de primeira ordem (PO) (eq. 8), Gompertz Modificado (GM) (eq. 9) e Cone (eq. 10) (Hu et al., 2021; Mohseni, Fan e Roddick, 2021; Nguyen et al., 2019; Zhen et al., 2016). A partir das equações dos modelos cinéticos (Tabela 10), os parâmetros cinéticos - produção máxima de metano ( $Y_m$ ), coeficiente de 1ª ordem ( $k$ ), taxa máxima de produção de metano ( $R_m$ ), fator de forma ( $n$ ) e fase lag ( $\lambda$ ) foram obtidos. Os dados foram analisados por meio da ferramenta

de otimização “Solver” do programa MS Excel, no qual os parâmetros dos modelos foram obtidos pela minimização do valor desvio quadrático médio (RMSD, do inglês). A avaliação dos modelos foi efetuada pela raiz quadrática média dos erros normalizado em relação à média dos valores experimentais (RRMSE, do inglês, %) (Pham, Triolo e Sommer, 2014) e do coeficiente de determinação ( $R^2$ ).

Tabela 10 – Modelos cinéticos aplicados em digestão anaeróbia

Equação	Modelo	Equação	Parâmetros do modelo
(6)	1ª ordem	$Y_i = Y_m(1 - e^{-k_h t_i})$	$Y_i$ = é o rendimento específico de metano no tempo $i$ ( $\text{mL}_{\text{CH}_4} \cdot \text{g}^{-1} \text{sv}$ ); $Y_m$ = rendimento máximo de metano ( $\text{mL}_{\text{CH}_4} \cdot \text{g}^{-1} \text{sv}$ ); $k_h$ = taxa de hidrólise ( $\text{d}^{-1}$ ); $t_i$ = tempo de digestão (d).
(7)	Gompertz Modificado	$Y_i = Y_m \exp(-\exp(\frac{R_m e(\lambda - t_i)}{Y_m}) + 1)$	$\lambda$ = fase lag ( $\text{d}^{-1}$ ); $R_m$ = taxa máxima de produção de metano ( $\text{mL}_{\text{CH}_4} \cdot \text{g}^{-1} \text{sv d}^{-1}$ ).
(8)	Cone	$Y_i = \frac{Y_m}{1 + (k_h t_i)^{-n}}$	$n$ = fator de forma.

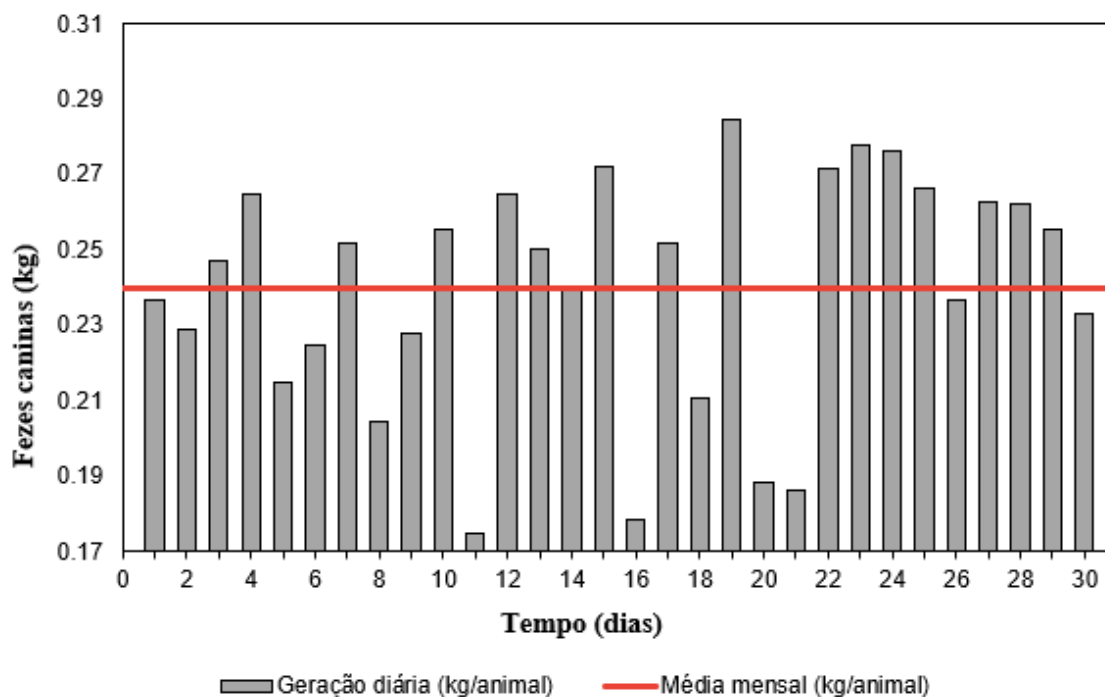
Adaptado: Hu et al. (2021) e Zhen et al. (2016).

## 5.1. Resultados e discussão

### 5.1.1. Caracterização e quantificação dos dejetos gerados

Para o período monitorado a geração média de fezes caninas foi de 0,240 kg.animal-1.d-1 (Figura 6), valor inferior ao reportado de 0,340 kg.animal-1.d-1 para cães no Canadá, e maior que a estimativa europeia de 0,140 kg (Taylor, 2004). De acordo com Martínez-Sabater et al. (2019) a geração média das fezes pode ser associada ao porte dos animais e a questões culturais, visto que na Europa os animais domésticos são usualmente de menor porte. Para o presente estudo, a geração das fezes caninas para o período avaliado variou de 0,175 kg.animal-1.d-1 a 0,285 kg.animal-1.d-1.

Figura 6 – Valores da geração média de fezes caninas no canil monitorado.



Na Tabela 11 é apresentada a caracterização físico-química das fezes caninas. O pH das fezes caninas foi de 7,83, resultado que está dentro da faixa ideal para DA (6,0 a 8,0) (Chernicharo, 2007), sendo considerado um parâmetro que interfere na atividade dos microrganismos acidogênicos e metanogênicos, e conseqüentemente na produção de biogás (Jabeen et al., 2015). Em adição, o valor de pH do resíduo está de acordo com o reportado na literatura (4,6 - 8,6) (Bento et al., 2021 e Souza, 2015). Comparando-se com outros efluentes, o valor de pH encontrado nas fezes caninas encontra-se dentro da faixa de variação de pH em esgoto doméstico (6,7 – 8,0) e próximo ao efluente de suínos (7,7) (Von Sperling, 2006 e Souza, 2023). A composição de sólidos totais (32,7%) e voláteis (22,9%) nas fezes caninas é semelhante aos valores indicados na literatura (Brito, 2018; Souza et al., 2021; Bento et al., 2021).

Tabela 11 – Caracterização do inóculo utilizado na definição da relação I:S

Parâmetros	Unidade	Substrato
pH	-	7,83
Alcalinidade	mg CaCO <sub>3</sub> .l <sup>l</sup>	3720
Sólidos totais	%	32,7
Sólidos voláteis	%	22,9
Sólidos fixos	%	9,8
SV/ST	-	0,7
DBO	g.l <sup>-1</sup>	18,9
DQO	g.l <sup>-1</sup>	42,6
DQO/DBO	-	2,3
NTK	g.l <sup>-1</sup>	1,32
Potássio	mg.l <sup>-1</sup>	142,8

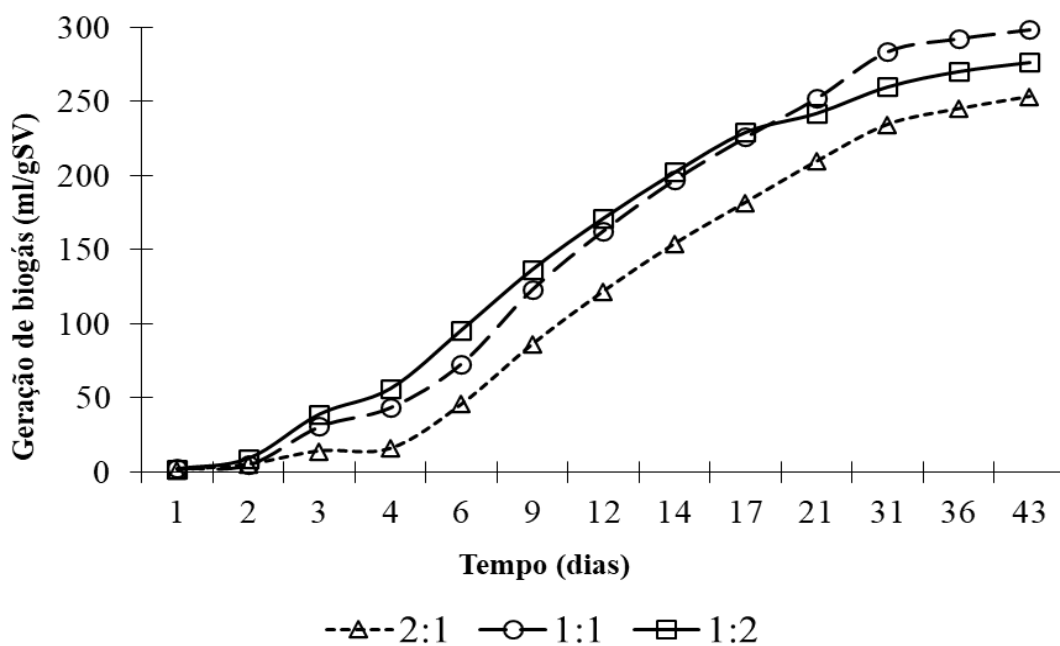
Legenda: DQO: demanda química de oxigênio; DBO: demanda bioquímica de oxigênio; NTK: nitrogênio total kjeldahl.

O valor de DQO foi de 42,6 g. L<sup>-1</sup>, próximo ao reportado por Martínez Sabater (2019) para fezes caninas (43,5 g.L<sup>-1</sup>), em adição, a relação DQO/DBO das fezes caninas apresentou uma razão igual a 2,3, indicando que o resíduo apresenta boa biodegradabilidade (von Sperling, 2006), tendo sido inferior ao observado por Souza (2015), relação igual a 4,0. A relação DBO/DQO em efluentes caninos pode ser bastante variável, dependendo da presença de pêlos dos animais, presença de óleos, graxas e detergentes, assim como da fonte nutricional dos animais (Bento, 2021).

### 5.1.3. Definição da relação Inóculo:Substrato

Na Figura 7 é apresentada a produção cumulativa de biogás para as relações de I:S (2:1, 1:1 e 1:2). Após a estabilização da produção de biogás, ocorrida aos 43 dias, os resultados da produção foram de 253,2 mL.g<sup>-1</sup>SV 298,6 mL.g<sup>-1</sup>SV e 276,8 mL.g<sup>-1</sup>SV, respectivamente. A taxa de geração de biogás foi maior no 9º dia, correspondendo a 30,9 mL.g<sup>-1</sup>SV, 40,7 mL.g<sup>-1</sup>SV e 36,2 mL.g<sup>-1</sup>SV para as relações de 2:1, 1:1 e 1:2, respectivamente.

Figura 7 – Geração de biogás em diferentes razões inóculo/substrato (mL.g<sup>-1</sup>sv)



Aquino et al. (2020) ao avaliarem os efeitos da co-digestão de esterco de frango com sabugo de milho, observaram uma maior produção de biogás para a relação I:S de 2:1, comparada às relações 1:2 e 1:4. De acordo com os autores, a predominância de substrato pode contribuir com maiores concentrações de ácidos orgânicos ao final da digestão anaeróbia, acarretando uma sobrecarga orgânica e causando um desequilíbrio entre a produção e o consumo de ácidos graxos voláteis (AGV), desequilibrando o processo. Este fato, pode explicar a queda da produção de biogás ao final da digestão anaeróbia do tratamento com relação inóculo substrato menor (1:2), sendo ultrapassado no 20º dia pelo tratamento 1:1. Ao contrário do relatado por Aquino et al. (2020), a relação 1:2 produziu um maior volume de biogás que a relação 2:1.

### 5.1.3. Aclimação do inóculo e caracterização do substrato utilizados nos testes de biodegradabilidade em diferentes faixas de temperatura

Na Tabela 12 é apresentado a caracterização dos inóculos utilizados para os diferentes tratamentos, indicando a caracterização antes e depois do processo de aclimação que teve duração de 21 dias. O inóculo inicial apresentou um pH próximo à neutralidade e alcalinidade de 5326,7 mg CaCO<sub>3</sub>.L-1. O inóculo apresentou características consideradas adequadas para o processo (pH - 7,0 a 8,5 e alcalinidade superior a 3000 mgCaCO<sub>3</sub>.L-1), conforme reportado por Holliger et al., (2016) para testes de biodegradabilidade.

Em linhas gerais foi observado a redução do teor de ST (0,2 a 1,1%) para os quatro inóculos, assim como do teor de SV nos tratamentos com temperatura diferente da temperatura ambiente. A manutenção dos teores de SV na temperatura ambiente podem estar relacionados à menor atividade bacteriana nessas condições. Os sólidos fixos reduziram-se nos tratamentos de temperatura ambiente, mesofílica e mista, não se observando alteração na condição termofílica. Além disso, em todos os tratamentos a relação SV/ST aumentou com a aclimação dos inóculos, exceto no tratamento termofílico.

O pH e a alcalinidade diminuíram em todos os tratamentos após o processo de aclimação, decorrente do consumo de matéria orgânica e produção de ácidos como subproduto, os quais podem reagir com íons bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ), reduzindo assim a alcalinidade (Capri e Marais, 1975). No caso da temperatura termofílica, a menor redução da alcalinidade pode ser atribuída à liberação de substâncias tampões na digestão, a exemplo da amônia (Owen et al., 1979).

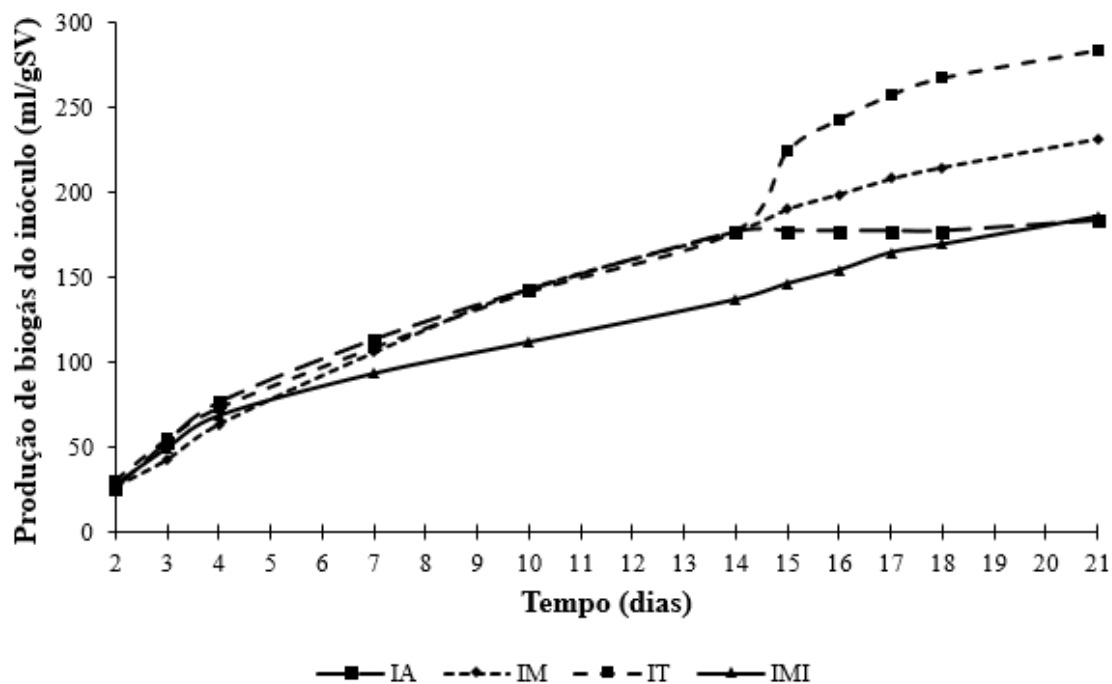
Tabela 12 – Caracterização do inóculo antes e depois da aclimação

Parâmetros	Antes da aclimação	Depois da aclimação				Unidade
		Ambiente (IA)	Mesofílico (IM)	Termofílico (IT)	Misto (IMI)	
Sólidos totais	5,7	5,5	4,7	4,6	5,3	%
Sólidos voláteis	3,5	3,5	3,3	2,5	3,3	%
Sólidos fixos	2,2	2,0	1,4	2,2	2,1	%
SV/ST	0,6	0,6	0,7	0,5	0,6	-
pH	7,4	7,3	7,3	7,1	7,3	-
Alcalinidade	5.326,7	3.900,0	3.720,0	4.680,0	3.660,0	mg $\text{CaCO}_3 \cdot \text{L}^{-1}$

Legenda: SV: sólido voláteis, ST: sólidos totais.

A produção acumulada de biogás nos inóculos durante o processo de aclimação em diferentes condições de temperatura (IA, IM, IT e IMI) é apresentada na Figura 8, com resultados após a estabilização das curvas de 183,4, 231,6, 283,7 e 186,0 mL.g<sup>-1</sup>SV, respectivamente. Ressalta-se que os inóculos até o dia 13 foram mantidos sob condições mesofílicas e depois houve a transição para a temperatura de interesse. Dentre as condições de produção de inóculo, destaca-se que no inóculo termofílico (IT) houve o maior consumo de sólidos voláteis, o que resultou em uma maior produção de biogás dentre os inóculos.

Figura 8 – Geração de biogás dos inóculos



#### 5.1.4. Influência da temperatura na biodegradabilidade das fezes caninas

Após a aclimação dos inóculos para as diferentes condições de temperatura, deu-se início ao teste de biodegradabilidade (PBM), considerando-se a relação I:S de 1:1. Os resultados da caracterização do substrato utilizado no teste de PBM é apresentado na Tabela 13.

Tabela 13 – Caracterização do substrato utilizado no estudo

Parâmetros	Unidade	Substrato
pH	-	6,8
Alcalinidade	mgCaCO <sub>3</sub> .l <sup>-1</sup>	4992
Condutividade elétrica	dS.m <sup>-1</sup>	5,14
Sólidos totais	%	34,3
Sólidos voláteis	%	23,2
Sólidos fixos	%	11,1
SV/ST	-	0,68
DBO	g.L <sup>-1</sup>	7,16
DQO	g. L <sup>-1</sup>	30,0
DQO/DBO	-	4,25
Nitrogênio total	g. L <sup>-1</sup>	6,72
NTK	g. L <sup>-1</sup>	1,32
C/N	-	6
Fósforo total	%	7,98
Potássio	%	0,1
Na	%	0,02
Cu	mg.kg <sup>-1</sup>	5,1
Mn	mg.kg <sup>-1</sup>	13,6

\*Considera-se 1 litro = 1 kg.

As fezes caninas apresentaram valor médio de pH de 6,8, estando dentro da faixa aceitável para o metabolismo dos microrganismos anaeróbios, entre 6,5 e 8,5 (Hu et al., 2019). Soto et al. (2022) ao caracterizarem as fezes caninas de um canil no Chile obtiveram valores de condutividade elétrica, sódio, manganês, cobre e fósforo de 9,4 dS.m<sup>-1</sup>, 0,54%, 446 mg.kg<sup>-1</sup>, 70 mg.kg<sup>-1</sup> e 8,7%, respectivamente, indicando resultados superiores ao presente estudo; as variações na caracterização do substrato são decorrentes de diversos fatores, dentre os quais se destacam a fonte de alimentação e digestibilidade dos animais (Souza et. al, 2021).

A relação C/N nas fezes caninas foi de igual a 6,0, menor que a encontrada por outros trabalhos, como de Soto et al. (2022) para fezes caninas de um canil no Chile (C/N = 12), Okoroigwe, Ibeto e Ezema (2014) para as fezes de uma unidade canina na Nigéria (C/N = 17), e por Martínez Sabater (2019) para fezes caninas coletadas de uma instituição de proteção aos animais na Espanha (C/N = 8,8). A relação C/N nas fezes caninas encontrada

neste trabalho ( $C/N = 6,0$ ) também foi inferior a outros resíduos orgânicos de fonte animal: esterco bovino (22), esterco suíno (17) e resíduo alimentar (35) (Forster-Carneiro, Pérez e Romero, 2008; Moller, Sommer e Aring, 2004). Uma explicação pode residir no fato de que muitas rações possuem altos teores de proteínas, aumentando a quantidade de aminoácidos não digeridos, com isso, as fezes de cães tendem a apresentar concentrações de nitrogênio mais elevadas (Souz aet. al, 2021 e Náthia-Neves et al., 2018). Substratos com baixa relação  $C/N$  podem apresentar inibição por amônia, devido à liberação da substância durante a degradação anaeróbia dos compostos nitrogenados. Em adição, para o presente estudo o valor de NTK foi de  $1,32 \text{ g. L}^{-1}$ , valor abaixo do limite ( $1,5 \text{ g. L}^{-1}$ ) em que se pode ter processo inibitórios na digestão anaeróbia (Owen et al., 1979).

As produções cumulativas de biogás das fezes de cães para as faixas de temperatura ambiente, mesofílica, termofílica e mista são apresentadas na Figura 9.

Figura 9 – Caracterização

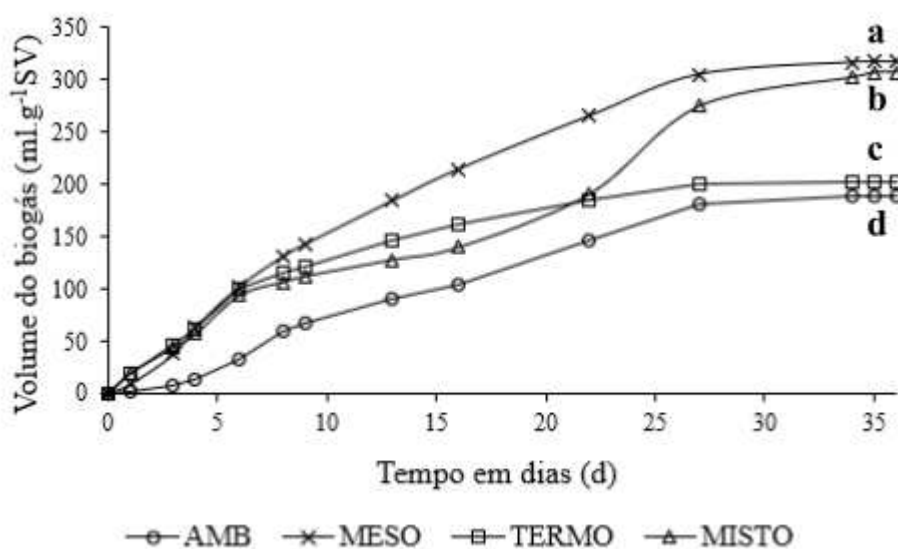


Figura 9 – Gráfico da geração de biogás em diferentes temperaturas (mL.g<sup>-1</sup>SV). TA: tratamento em temperatura ambiente; TM: tratamento em temperatura mesofílica; TT: tratamento em temperatura termofílica; TMI: tratamento em temperatura mista.

A produção de biogás foi prontamente iniciada nos testes de BMP em todos os tratamentos. A estabilidade da digestão foi identificada após 36 dias operacionais, seguindo as prerrogativas indicadas em Holliger et al. (2016). Os rendimentos médios de biogás (em mL.g<sup>-1</sup>SV) para os tratamentos foram de 188,67 (TA), 316,90 (TM), 202,70 (TT) e 306,80 (TMI). Em um primeiro estágio da digestão (dia operacional 4) nota-se a semelhança das

curvas com a digestão termofílica e mesofílica, onde se inicia um melhor desempenho na produção de biogás para a condição mesofílica. Os maiores rendimentos encontrados para TM podem ser atribuídos às condições de adaptação do inóculo à digestão anaeróbia. Até o dia operacional 8, os tratamentos TT e TMI (ainda sob condição termofílica) são convergentes, padrão que se modifica com a mudança da temperatura de TMI para a faixa mesofílica, observando-se como consequência o aumento da taxa de produção de biogás após o dia 16, decorrente da adaptação da microbiota. Ao final do processo de digestão observou-se pelo teste de Tukey (nível de significância 5%) semelhança estatística com os resultados dos tratamentos mesofílico (TM) e misto (TMI), com uma produção acumulada de biogás semelhante entre si e inferior para os tratamentos com temperatura ambiente (TA) e temperatura termofílica (TT).

Os melhores resultados observados para TM e TMI podem ser associados à maior condição de biodegradabilidade dos substratos 97.1 e 94.0%, respectivamente, assim como à boa condição de adaptação do inóculo na degradação anaeróbia. A temperatura ambiente apresentou a menor condição de biodegradabilidade (57.8%) e o menor teor de metano dentre os tratamentos (31%).

Tabela 14 – Caracterização do potencial de biometano teórico máximo e a biodegradabilidade das fezes caninas.

Tratamentos	PBM (mL.g <sup>-1</sup> <sub>sv</sub> )	X <sub>CH<sub>4</sub>médio</sub>	PBM <sub>Tmax</sub> (mL.g <sup>-1</sup> <sub>sv</sub> )	Biod (%)	PCT (kWh.m <sup>-3</sup> )
Ambiente	188,67	0,310,28		57,8	3,11
Mesofílico	316,90	0,490,56		97,1	4,84
Termofílico	202,70	0,480,25	326,4	62,1	4,78
Misto	306,90	0,440,11		94,0	4,35

Legenda: PCT = poder calorífico teórico; X: teor de metano no biogás; PBM<sub>Tmax</sub>: Potencial de Biometano Teórico Máximo; Biod: biodegradabilidade anaeróbia.

Moset et al. (2015) observaram para a digestão anaeróbia em condições termofílicas uma geração de biogás para estrume de boi (208 mL.ml<sup>-1</sup>SV) semelhante à encontrada neste trabalho (203 mL.g<sup>-1</sup>SV). Martínez-Sabater et al., (2019) encontraram uma produção total de biogás para as fezes caninas de 229 mL.g<sup>-1</sup>SV durante 25 dias para digestão anaeróbia

mesofílica a 35°C e um volume maior de biogás (265,3 mL.g-1SV) em um menor intervalo de tempo (22 dias) na condição termofílica.

Os resultados da produção de biogás para as condições mesofílicas são superiores a outros resíduos orgânicos, tais como esterco de frango (132 mL.g-1SV) e esterco de vaca leiteira (275 mL.g-1SV) (Johannesson, 2020), esterco bovino (148 mL.g-1SV) (Moller, Sommer e Aring, 2004). Em adição, Moller, Sommer e Aring (2004) reportam uma produção de biogás para esterco suíno de 356 mL.g-1SV, valor compatível com a degradação de dejetos de cães (316,90 mLCH<sub>4</sub> /gSv) à 35°C, assim como pela co-digestão de comida canina com palha de milho (317 mL.g-1SV) (Xu e Li, 2012).

Por sua vez, Linsong et. al. (2022) encontraram para a digestão anaeróbia mesofílica de esterco de galinha, uma geração de biogás e uma biodegradabilidade de 73,6 mL.g-1SV e 23,6%, respectivamente, valores inferiores ao encontrado para as fezes caninas (316,9 mL.g-1SV e 97,1%), o que pode estar associado à inibição por amônia (Owen et al., 1979). Com os resultados para a condição mesofílica, identifica-se a potencialidade da digestão anaeróbia de fezes caninas, embora tenha-se que se considerar uma fonte de energia externa para o aquecimento e manutenção da temperatura do reator, o que pode ocorrer a partir de alternativas de baixo custo, tais como placas solares (Liu et. al, 2023).

#### 5.1.4. Cinética

Os parâmetros cinéticos estimados, assim como os valores do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e da raiz quadrática média dos erros normalizado (RMSE) dos modelos para todos os tratamentos são apresentados na Tabela 16. Em relação ao ajuste, o modelo de Cone apresentou baixos valores de  $R^2$  e elevados valores de RRMSE para os tratamentos TM (0,53 e 87,32%) e TMI (0,45 e 113,61 %). Nos demais casos, o  $R^2$  foi superior a 0,95 e RRME não superior a 25% para maioria dos casos analisados. Nesse sentido, destaca-se o modelo de Gompertz Modificado, com  $R^2$  mais elevado em todos os tratamentos e RMSME inferiores a 12, indicando melhor ajuste aos dados experimentais. A produção máxima de metano ( $Y_m$ ) foi superestimada pelos modelos estudados, com exceção do modelo Gompertz Modificado no ensaio TT (Diff = -2,00 %).

Tabela 15 – Parâmetros estimados a partir do ajuste das curvas de BPM para distintos modelos cinéticos

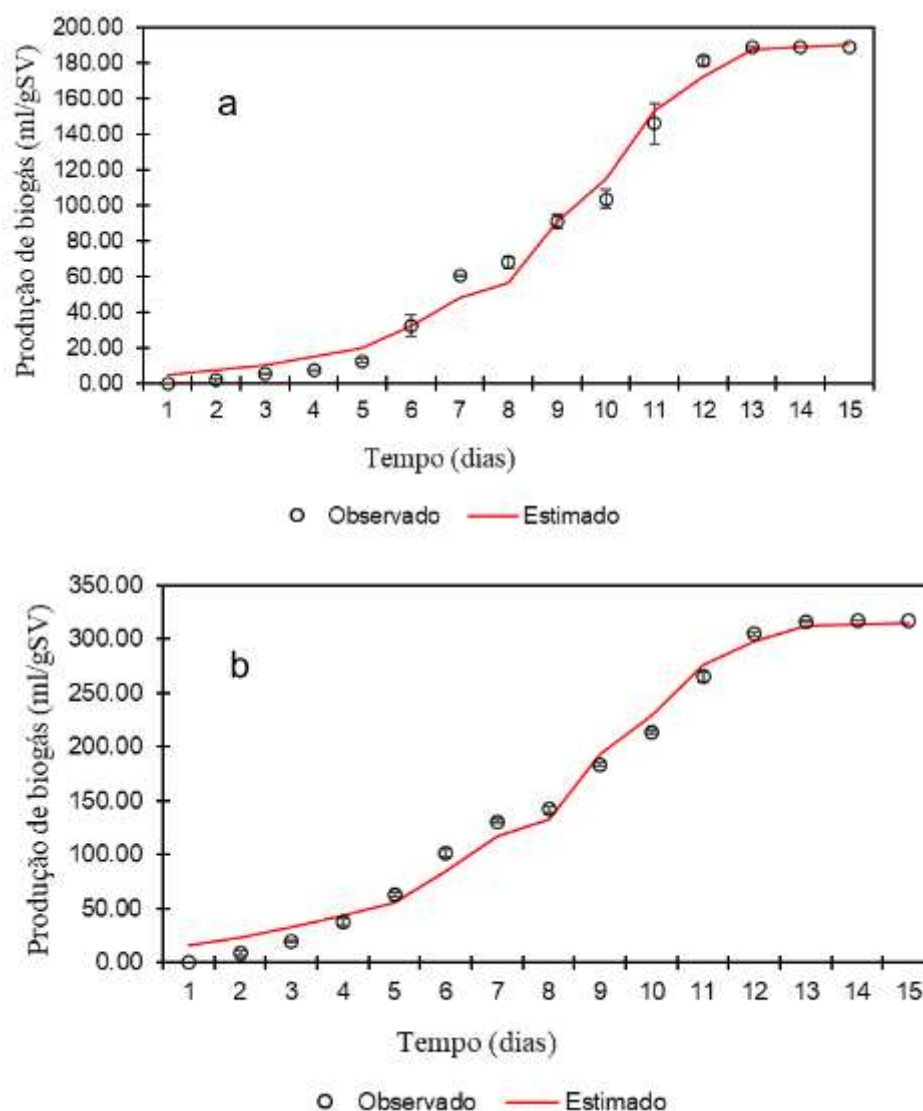
Modelo	Parâmetros	Tratamento			
		Ambiente (TA)	Mesofílico (TM)	Termofílico (TT)	Misto (TMI)
1° ordem	Y (mL g <sub>sv</sub> <sup>-1</sup> )	188,67	316,90	202,70	306,80
	Y <sub>m</sub> (mL g <sub>sv</sub> <sup>-1</sup> )	196,09	392,35	211,66	576,00
	k (d <sup>-1</sup> )	0,062	0,05	0,094	0,02
	R <sup>2</sup>	0,97	0,99	0,99	0,98
	RRMSE (%)	21,86	5,41	3,39	10,51
	Diff (%)	3,93	23,81	4,42	87,90
Gompertz Modificado	Y <sub>m</sub> (mL g <sub>sv</sub> <sup>-1</sup> )	199,58	322,01	198,65	390,27
	R <sub>m</sub> (mL g <sub>sv</sub> <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> )	8,78	16,11	14,03	9,92
	Lag (d)	2,60	0,74	0	0
	R <sup>2</sup>	0,99	0,99	0,99	0,98
	RRMSE (%)	8,32	6,77	6,85	11,80
	Diff (%)	5,78	1,61	-2,00	27,21
Cone	Y <sub>m</sub> (mL g <sub>sv</sub> <sup>-1</sup> )	249,00	337,40	238,02	337,40
	k (d <sup>-1</sup> )	0,06	0,61	0,12	0,61
	n	1,70	1,98	1,27	1,98
	R <sup>2</sup>	0,99	0,53	0,99	0,45
	RRMSE (%)	6,38	87,32	3,09	113,61
	Diff (%)	31,98	6,47	17,43	9,98

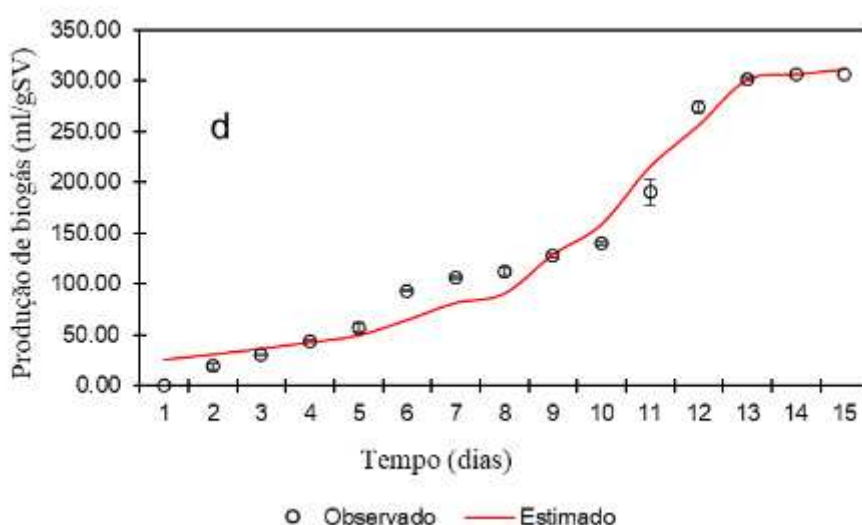
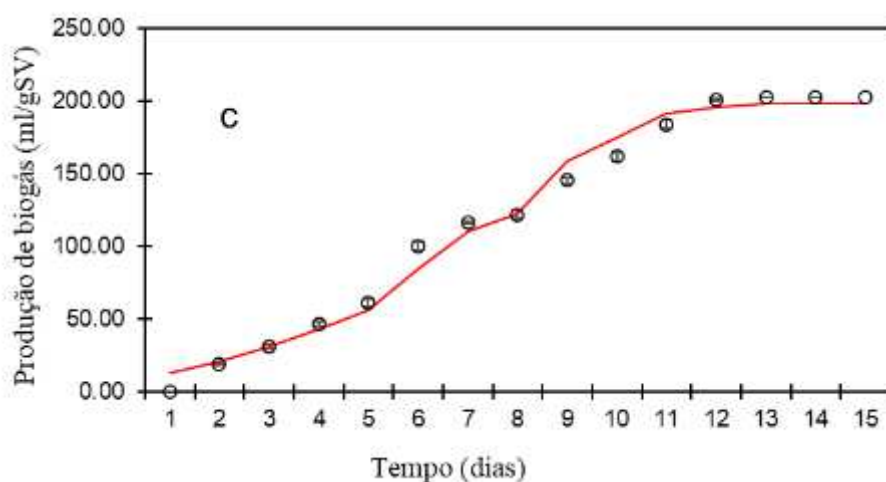
Legenda: Diff (%) = ((BPM<sub>i</sub> - YM<sub>i</sub>) / YM<sub>i</sub>) · 100, com i relacionado ao tratamento

A taxa de hidrólise (kh) é um coeficiente que retrata a biodegradabilidade do substrato (Zhen et al., 2016). Nos modelos de 1° ordem e Cone, kh variou de 0,02 - 0,094 d<sup>-1</sup> e 0,06 - 0,61d<sup>-1</sup>, respectivamente. Na Figura 10 observa-se que o desempenho de cada tratamento divergiu quanto ao modelo. No modelo de 1° ordem o TT apresentou uma taxa (0,094) mais de 1,5 vezes superior aos demais, com o menor valor para TMI (0,02). No modelo de Cone, obteve-se uma taxa 5 vezes superior para TM e TMI (0,61) em relação ao TT (0,12) e TA o menor valor (0,06). Em relação a taxa máxima de produção de metano (R<sub>m</sub>), os resultados seguiram o mesmo padrão que a produção acumulada de biogás (Y), com o maior valor para TM, seguido de TT, TMI e TA. Por outro lado, a fase lag diminuiu (0 a 2,60) com o aumento da temperatura.

Li et. al (2019) reportam que uma estreita fase de defasagem (0 a 1,1 dias) para resíduos de cultivo de vegetais para digestão anaeróbia mesofílica (37°C), enquanto Yang et al. (2018) relatam uma fase de defasagem mais longa (0,7 - 35,7 dias) para águas residuais de despolimerização do talo do milho e da palha em digestão anaeróbia termofílica. Dessa forma, a condição termofílica não conseguiu aumentar a cinética da digestão das fezes caninas. Esse fato pode ser atribuído à maior solubilização da matéria orgânica provocadas pela alta temperatura, levando o sistema à sobrecarga de matéria orgânica, o que é corroborado pela maior DQO e DBO final no digestato do tratamento TT (Tabela 17).

Figura 15 – Produção de metano por tempo para a digestão anaeróbia em diferentes temperaturas. Os dados medidos estão representados por pontos e estimados para o modelo de Gompertz Modificado: a: ambiente, b: mesofílica, c: termofílica e d: mista.





#### 5.1.4. Potencial de reuso das fezes caninas

##### 5.1.4.1. Caracterização do digestato e avaliação do emprego na fertirrigação

A Tabela 17 apresenta a caracterização físico-química e microbiológica (Coliformes e E.Coli) do digestato ao final da digestão anaeróbia sob as diferentes condições de temperatura avaliadas. A qualidade do digestato foi analisada em termos do atendimento aos padrões para irrigação pela (COPAM 8/22), Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA), Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), Organização Mundial da Saúde (OMS) e Administração de Alimentos e Medicamentos dos Estados Unidos (FDA).

O pH de todos os tratamentos estiveram dentro da faixa recomendada pela COPAM 8/22 (5 a 9) e pela USEPA (6 a 9). Além disso, o pH dos efluentes permaneceu dentro da faixa normal recomendada (6,5 a 8,4) para a não inibição da atividade metanogênica (Jabeen

et al., 2015). Esta estabilidade de pH pode ser associada à alcalinidade, que reflete a capacidade tampão dos substratos. Tanto o substrato quanto os inóculos utilizados nos experimentos possuíam uma alcalinidade alta ( $>3$  g  $\text{CaCO}_3 \cdot \text{L}^{-1}$ ), o que favorece a neutralização dos ácidos produzidos durante o processo anaeróbio (Filer, Ding e Chang, 2019). Além disso, as fezes caninas possuem um alto teor de proteínas, sendo assim, menos propensas a apresentar diminuição do pH em testes de PBM (Okoroigwe, Ibeto e Okpara, 2010).

Tabela 15 – Caracterização físico-química e microbiológica do digestato para os diferentes tratamentos e a comparação aos padrões para lançamento e diretrizes para irrigação

Análises	AMB (TA)	MESO (TM)	TERMO (TT)	MISTA (TMI)	Irrigação	COPAM 8/22
pH	6,9	7,5	7,4	7,2	6 - 9**	5 - 9
Alcalinidade (mg $\text{CaCO}_3 \cdot \text{L}^{-1}$ )	1920	1200	1500	1620	-	-
Sólidos totais (g.kg <sup>-1</sup> )	13	12	12	16	< 50*	-
Sólidos voláteis (g.kg <sup>-1</sup> )	7	6	6	9	-	-
Sólidos fixos (g.kg <sup>-1</sup> )	6	6	6	7	-	-
Relação SV/ST	0,5	0,5	0,5	0,6	-	-
Condutividade (dS.m <sup>-1</sup> )	2,12	2,20	2,54	2,40	0,87- 3,0*	-
DQO (mg. L <sup>-1</sup> )	3710	3924	8053	6045	2000**	≤180
DBO (mg. L <sup>-1</sup> )	422	750	977	1140	500***	≤ 60
DQO/DBO	9	5	8	5	-	-
Nitrogênio Total (g. L <sup>-1</sup> )	1,03	1,21	1,34	1,10	-	-
Potássio (mg. L <sup>-1</sup> )	656	817	821	478	-	-
Fósforo (g. L <sup>-1</sup> )	2,8	3,5	4,3	3,7	-	-
C/N	4	3	6	6	-	-
Cobre (mg L <sup>-1</sup> )	1,5	5,3	5,8	3,3	0,2 - 5**	≤1
Manganês (mg. L <sup>-1</sup> )	2,8	3,5	2,0	1,0	0,2 - 10**	≤1
Sódio (mg L <sup>-1</sup> )	0,45	0,75	0,735	1,05	0,45 - 1,05**	-
Coliformes (NPM.100m L <sup>-1</sup> )	1986	1299	1553	1261	< 200**	-
E. coli (NPM.100m L <sup>-1</sup> )	32,3	25,6	13,4	0	<126****	-

AMB: Digestão Anaeróbia em Temperatura Ambiente; MESO: Digestão Anaeróbia em Temperatura Mesofílica; TERMO: Digestão Anaeróbia em Temperatura Termofílica; MISTA: Digestão Anaeróbia em Temperatura Termofílica seguida da Mesofílica; Os valores da COPAM 8/22 são referentes ao lançamentos de efluentes.

\*USEPA; \*\*USDA; \*\*\*OMS; \*\*\*\*FDA

Os sólidos totais encontrados em todos os quatro efluentes não excederam os níveis aceitáveis de ST para resíduos animais utilizados na produção de culturas estabelecidos pela USEPA (2204) de 5%. A condutividade elétrica (CE) de todos os tratamentos se encontra na faixa de 0,7 a 3,0 dS. m-1 que de acordo com USEPA (2004) indica uma restrição de uso moderada. Além disso, o resultado para CE (2,12 a 2,54 dS.m-1) estão de acordo com os valores usuais reportados para salinidade das águas de irrigação que variam entre 0,75 e 2,25 dS.m-1 (Bastos, 2003). Por sua vez, as concentrações de cobre e manganês de todos os tratamentos estão de acordo com as recomendações da USEPA (2004). No entanto, esses elementos se encontram acima das recomendações da COPAM 8/22 para disposição em corpos de água, com exceção dos resultados obtidos no tratamento misto (TMI), no qual o teor de manganês se encontra no limite estabelecido pela norma de 1 mg. L-1. Por sua vez, as análises de sódio tiveram valores variando de 0,45 a 1,05 mg L-1, se adequando aos padrões relacionados à não toxicidade para culturas sensíveis (USEPA, 2004). Todos os elementos analisados se encontram dentro da faixa máxima recomendada de oligoelementos em água de irrigação (Bastos, 2003).

Os valores de DQO encontrados para os quatros efluentes analisados excedem o limite estabelecido pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) de 2000 mg.L-1 para resíduos animais utilizados para a produção agrícola (USDA, 2016). Porém, estes resultados de DQO para os efluentes da digestão anaeróbia das fezes caninas são convergentes aos encontrados no tratamento dos dejetos de outros animais, a exemplo de bovinos (4989 mg. L-1) e ovinos (6959 mg. L-1) (Li et al., 2020). Em relação à DBO, apenas em TA foi observado níveis aceitáveis para águas residuais utilizadas na irrigação de cultivos de acordo com a OMS, não excedendo 500 mg. L-1 (OMS, 2006). Além disso, os teores de DBO encontrados são menores se comparados com o efluente da DA de outros animais como dos bovinos (2633 mg. L-1) e dos suínos (3041 mg. L-1) (Li et al., 2020).

Em temperaturas mesofílicas, o processo de digestão é relativamente mais lento do que as temperaturas termofílicas. Isto porque a atividade microbiana em temperaturas mesofílicas é menor em comparação com as temperaturas termofílicas (Shi, et al., 2018). Porém, os resultados de DQO para TT (8052 mg. L-1) foram maiores que do TM (3924 mg.

L-1). Isto pode ter ocorrido devido a uma possível autofagia da microbiota durante a aclimação do inóculo termofílico (Chen et al., 2015). Além disso, a digestão termofílica pode ser mais sensível a flutuações nas condições operacionais, tais como pH, disponibilidade de nutrientes e taxas de carga orgânica. Isto pode resultar em um maior risco de instabilidade do processo e falha do reator (Shi, et al., 2018).

Em relação à disposição de efluentes em corpos de água, conforme já esperado, a DBO e a DQO de todos os tratamentos encontram-se acima da faixa recomendada pela COPAM 8/22, <60 mg. L-1 e <180 mg. L-1, respectivamente. Sendo assim, é necessário o pós-tratamento dos efluentes caninos tratados por digestão anaeróbia. Além disso, na prática, além de gerar biogás, a digestão anaeróbia auxilia no tratamento do efluente quando este seria jogado na rede coletora, sendo uma boa solução para o tratamento descentralizado, e posterior lançamento do efluente tratado na própria rede de coleta.

A relação C/N para todos os tratamentos foi baixa, o que indica um material de rápida decomposição, e alta mineralização, tornando-se uma fonte de nutrientes para o solo, em especial o nitrogênio orgânico (Oliveira, 2019). A análise microbiológica apontou que todos os efluentes possuem valores de E.coli dentro dos padrões estabelecidos pela Administração de Alimentos e Drogas dos Estados Unidos (FDA) para águas de irrigação utilizadas na produção de culturas, não excedendo 126 UFC por 100 ml de água. Ao mesmo tempo, nenhum tratamento estava dentro dos padrões de qualidade da USEPA (2004) para coliformes para uso na fertirrigação, estando acima de 200 NMP/100ml.

Sendo para, como esperado, para garantir uma qualidade compatível com a legislação de águas para irrigação, deve-se ter ainda um sistema de pós-tratamento e de desinfecção, promovendo a remoção complementar de matéria orgânica e remoção de microrganismos.

#### 5.1.4.1. Potencial de geração de biogás

A Tabela indica e compara a geração de energia advinda da recuperação do biogás ao se considerar os três tratamentos térmicos avaliados. Como já indicado, o melhor resultado dentre os tratamentos foi para a temperatura mesofílica (317 mL gSV d-1), o que permitiria a geração de biogás em um digestor anaeróbio com os dejetos de cães da ordem de 0,72 m3.d-1 (1662 MJ/d).

A composição de metano no biogás foi inferior na temperatura ambiente (31,4%), sendo que para os demais tratamentos onde houve acréscimo de temperatura com valores

variaram de 44 a 48,9%. De qualquer forma, a composição do metano esteve dentro das faixas usuais encontrada na literatura para diferentes substratos como esterco suíno (30 - 50%) (Ahn et al., 2010; Cuetos et. al., 2011; Rubežius et. al., 2020; Wang et. al., 2019 e Wang et. al., 2016), esterco de galinha (5,3 - 75%) (Wang et al., 2019), palha e milho (30 - 40%) (Cuetos et. al., 2011), estrume de gado (11 - 54%) (Cuetos et. al., 2017 e Ning et. al., 2016), e Microalga *Nannochloropsis oculata* (30 - 35%) (Saleem, et. al., 2020). Lytras et al. (2021) reportam ainda que a codigestão de resíduos alimentares com diferentes resíduos promoveu um acréscimo no teor de metano com valores que atingiram até 73%, o que pode ser uma prática potencial no tratamento anaeróbio de dejetos de cães, assim como reportado por Puig-Castellví, F. et al., 2020).

Neste tópico foi feita uma simulação para do potencial de geração de biogás a partir dos tratamentos em temperatura ambiente, mesofílica e termofílica para o canil particular de onde foram coletadas as fezes caninas utilizadas neste trabalho. A digestão anaeróbia em temperatura mesofílica teve uma produção de A partir do resultado encontrado no item 1.3.1, tem-se que um cachorro gera em um dia 0,24 kg, com isso, a estimativa da produção diária de biogás por animal é de 0,011 m<sup>3</sup>.g-1SV.d-1. Assim, o potencial de produção de biogás para um canil com 65 animais cujas fezes são tratadas por digestão anaeróbia mesofílica é de aproximadamente 0,715 m<sup>3</sup>.kg-1SV por dia, 21,28 m<sup>3</sup>.kg-1SV por mês ou 255,42 m<sup>3</sup>.kg-1SV por ano (Tabela 18). A Tabela 18 aborda a estimativa do potencial de produção de biogás para um canil com 65 animais.

Tabela 18 – Estimativa do potencial de produção de biogás para um canil com 53 cães

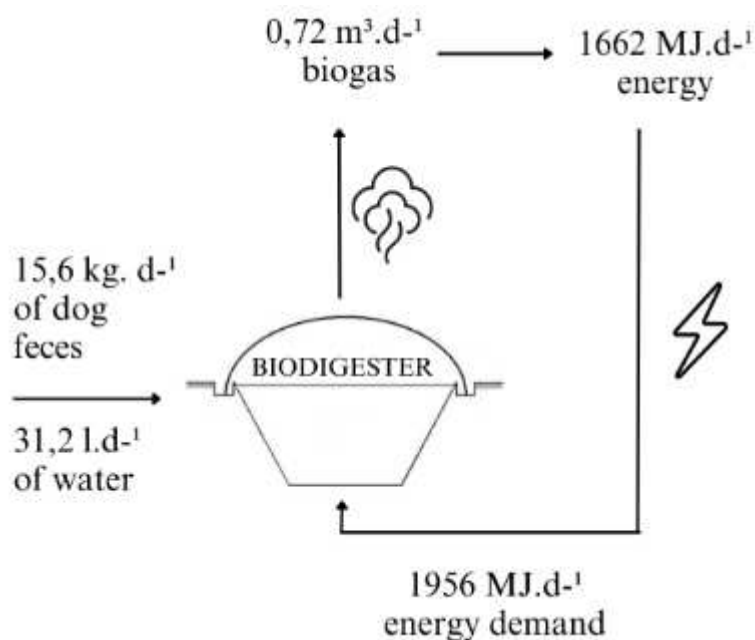
Trat.*	SV (g.g <sup>-1</sup> )	Gb (mL.g <sup>-1</sup> <sub>SV</sub> )	Gf (g animal <sup>-1</sup> .d <sup>-1</sup> )	Pbu (m <sup>3</sup> .g <sup>-1</sup> <sub>SV</sub> .d <sup>-1</sup> )	Pb65 (m <sup>3</sup> .g <sup>-1</sup> <sub>SV</sub> .d <sup>-1</sup> )	Peb (m <sup>3</sup> .kg <sub>SV</sub> <sup>-1</sup> )	Produção de biogás no canil (m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup> )	Teor de metano (%)	Produção energética (MJ.d <sup>-1</sup> )	Demanda energética (MJ.d <sup>-1</sup> )	Balanco
TA		188		0,0065	0,42	0,19	0,42	31,4	805	130	675
TM	0,23	317	240	0,011	0,72	0,32	0,72	49,6	1662	1956	-294
TT		202		0,007	0,45	0,20	0,45	48,2	867	4565	-3698

Legenda: \* Digestão anaeróbia das fezes caninas, em diferentes condições: TA: temperatura ambiente; TM: temperatura mesofílica; TT: temperatura termofílica; SV = Sólidos voláteis; Gb = Geração de biogás; Gf = Geração de fezes caninas; Peb = Produção específica de biogás; Pct = Poder calorífico teórico; Pbu = Potencial de produção de biogás unitária (por animal); Pb 65 = Potencial de produção de biogás para um canil com 65 animais.

A produção de energia encontrada para TA, TM e TT foi de 23,27 MJ.d-1, 39,24 MJ.d-1, e 25,00 MJ.d-1, respectivamente. A produção específica de biogás encontrada para a digestão anaeróbia mesofílica de fezes caninas foi de 0,32 m<sup>3</sup>.kgSV-1, sendo maior que a relatada por Coldebella et al. (2009) para resíduos de boi (0,28 m<sup>3</sup>.kgSV-1), vaca leiteira (0,28 m<sup>3</sup>.kgSV-1), frango (0,13 - 0,26 m<sup>3</sup>.kgSV-1) e cavalo (0,28 m<sup>3</sup>.kgSV-1). Porém, como os cães são animais de porte pequeno se comparados com a maioria dos animais pecuários, sua produção diária por animal é maior apenas que a do frango (0,001 - 0,002 m<sup>3</sup>.animal-1.d-1), e semelhante às das galinhas poedeiras (0,010 - 0,017 m<sup>3</sup>.animal-1.d-1). Além disso, uma alternativa para melhorar o desempenho da DA é a co-digestão conjunta de substratos, reconhecida como favorável à estabilidade do processo e ao aumento da produção de biogás (Puig-Castellví, F. et al., 2020).

A Figura 11 apresenta um esquema simplificado com o balanço de massa e energia na digestão anaeróbia dos dejetos de cães para a condição mesofílica, considerando o canil com 65 cães. Considerando os 65 animais, tem-se que o potencial de produção de biogás encontrado neste trabalho para fezes caninas é maior que o potencial de dejetos de outros animais, como de frango (0,13 m<sup>3</sup>.g-1SV-1d-1) e de vaca leiteira (0,28 m<sup>3</sup>.g-1SV-1d-1) (Johannesson, 2020).

Figura 11 – Esquema do balanço de energia par 65 cães



Um canil com 65 cães gera diariamente 15,6 kg de fezes, sendo necessária a entrada de 772 litros de água no sistema, gerando 0,7 m<sup>3</sup>.g-1SV por dia. Tem-se que a produção de energia diária para um canil com 65 cães é de 1662 MJ.d-1, faltando 294 MJ.d- para suprir a necessidade diária do biodigestor de energia calculada para abastecer o biodigestor (1956 MJ.d-1).

## 6. CONCLUSÕES

Tanto a digestão anaeróbia termofílica quanto a mesofílica foram demonstradas como métodos eficazes para a geração de biogás a partir de fezes caninas. O TM (316,9 mL.g-1SV ) gerou um volume de biogás consideravelmente maior que o TT (202,7 mL.g-1SV). Os teores médios de metano produzidos foram para TM e TT foram iguais a 48,9% e 48,3%, respectivamente. A análise cinética mostrou que o modelo de Cone apresentou o melhor ajuste aos dados experimentais. Além disso a condição termofílica não melhorou a cinética da digestão das fezes caninas. Esse fato pode ser atribuído à maior solubilização da matéria orgânica provocadas pela alta temperatura, levando o sistema à sobrecarga.

A digestão anaeróbia das fezes caninas tem o potencial de ser uma valiosa estratégia de recuperação de recursos e gerenciamento de resíduos, mas deve-se atentar à qualidade do efluente gerado a fim que se atendam as condições específicas estabelecidas pelas normas vigentes. A geração de fezes caninas foi de 240 g.animal-1.d-1. As produções de energia encontradas para TA, TM e TT foram de 805 1662 e 867 MJ.d-1, respectivamente.

Por fim, conclui-se que a digestão anaeróbia das fezes de cães pode ser considerada uma solução viável para o gerenciamento de resíduos de cães de um município ou de um canil, ao mesmo tempo em que produz insumos como biofertilizante e biogás.

## **6. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

1. Estudar a biodegradabilidade da co-digestão anaeróbia das fezes caninas com papel, com a hipótese de uma possível inibição. Com o sucesso do estudo, seria proposto um programa de coleta de resíduos de cães em parques da cidade. Recolhendo-os juntos e encaminhando para o tratamento. Reduzindo o volume deste resíduo nos aterros sanitários.

2. Estudar a biodegradabilidade da co-digestão anaeróbia das fezes caninas com outros resíduos de animais em geral, a fim de estudar a influência positiva ou negativa das fezes de cachorro com outros substratos.

3. Estudar fatores intervenientes presentes nas fezes de cães na biodegradabilidade da digestão anaeróbia.

4. Avaliar o composto gerado pela DA das fezes de cães na fertirrigação de forma prática, testando em plantas.

## REFERÊNCIAS

ABINPET - Associação Brasileira da Indústria de Produtos para Animais de Estimação. Informações gerais do setor pet. Acesso em: 25 de out. de 2021. Disponível em: <[http://abinpet.org.br/infos\\_gerais/](http://abinpet.org.br/infos_gerais/)>.

ABNT NBR 1004 - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Classificação dos resíduos sólidos, 2004. <https://analiticaqmresiduos.paginas.ufsc.br/files/2014/07/Nbr-10004-2004-Classificacao-De-Residuos-Solidos.pdf>.

Ahmed, Banafsha, Vinay Kumar Tyagi, Kaoutar Aboudi, Azmat Naseem, Carlos José Álvarez-Gallego, Luis Alberto Fernández-Güelfo, A. A. Kazmi, e Luis Isidoro Romero-García. 2021. “Thermally Enhanced Solubilization and Anaerobic Digestion of Organic Fraction of Municipal Solid Waste.” *Chemosphere* 282 (November): 131136. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131136>.

Alvarenga, Isabella Corsato, Zhining Ou, Shawn Thiele, Sajid Alavi, e Charles Gregory Aldrich. 2018. “Effects of Milling Sorghum into Fractions on Yield, Nutrient Composition, and Their Performance in Extrusion of Dog Food.” *Journal of Cereal Science* 82 (July): 121–28. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2018.05.013>.

Álvares De Almeida, Otávio. “Qualidade Da Água de Irrigação,” Embrapa. Dezembro de 2010.

<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/875385/1/livroqualidadeagua.pdf>.

Angelidaki, I., & Sanders, W. Assessment of the anaerobic biodegradability of macropollutants. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, 3(2), 117-129. doi: 10.1023/B:RESB.0000040059.90576.7a, (2004).

Anuar, N Khairul; Man, H Che; Idrus S; Daud, Nick N N. Biochemical methane potential (BPM) from anaerobic co-digestion of sewage sludge and decanter cake. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 368 doi:10.1088/1757-899X/368/1/012027 , 2018.

Arruda, E.C., J. Noronha, C.F.M. Molento, R.C.M. Garcia, e S.T. Oliveira. 2019. “Características Relevantes Das Instalações E Da Gestão de Abrigos Públicos de Animais No Estado Do Paraná, Brasil, Para O Bem-Estar Animal.” *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária E Zootecnia* 71 (1): 232–42. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-10224>.

Aquino, Sérgio Francisco; Paranhos, Aline Gomes de Oliveira; Adame, Oscar Fernando Herrera; Barreto, Gabriela Fernandes e Silva, Silvana de Queiroz. “Methane Production by Co-Digestion of Poultry Manure and Lignocellulosic Biomass: Kinetic and Energy

Assessment.” *Bioresource Technology* 300 (March 2020): 122588. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122588>.

Arias, Ossa; Mar, Maria del; e Martínez, Simón González. 2021. “Methane Production from the Organic Fraction of Municipal Solid Waste under Psychrophilic, Mesophilic, and Thermophilic Temperatures at Different Organic Loading Rates.” *Waste and Biomass Valorization* 12 (9): 4859–71. <https://doi.org/10.1007/s12649-021-01354-9>.

Bento, Raquel Flavia Pires, Livia Maria da Costa Silva, Boris Uribe, Lorna Guerrero, Alejandra Urtubia, Sergio Almonacid, e Andrea Barahona. “Avaliação Do Potencial Metanogênico Da Codigestão de Resíduos de Feira E Fezes Caninas.” *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais* 12 (1): 102–13. <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.001.0009>, 2021.

Brito, Cleusa Bernardete Marcon de. Digestibilidade, características fecais e palatabilidade de dietas com maçã desidratada em cães e gatos. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia. Curitiba, 2018.

Buffiere, P.; Loisel, D.; Bernet N.; Delgenes, J. P.; Towards new indicators for the prediction of solid waste anaerobic digestion properties. *Water Science & Technology*, v. 53, p. 233–241, 2006.

Campigotto, G., Jaguezski, A. M., Alba, D. F., Giombelli, L. C. D., da Rosa, G., Souza, C. F., ... da Silva, A. S. (2021). Microencapsulated phytogenic in dog feed modulates immune responses, oxidative status and reduces bacterial (*Salmonella* and *Escherichia coli*) counts in feces. *Microbial Pathogenesis*, 159, 105113. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2021.105113>

Capri, M.G., and G.v.R. Marais. “PH Adjustment in Anaerobic Digestion.” *Water Research* 9, no. 3 (March 1975): 307–13. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(75\)90052-4](https://doi.org/10.1016/0043-1354(75)90052-4).

Chen, Y.; Creamer, K. S. Inhibition of anaerobic digestion process: A review. *Bioresource Technology*, vol. 99, Edição 10, p. 4044-4064, jul. de 2008.

CNRH 121/2010. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Resolução nº 121, de 16 de dezembro de 2010.

Coldebella, Anderson, Nelson Samuel, Melegari De Souza, Juliano De Souza, e Ana Koheler. “Viabilidade da cogeração de energia elétrica com biogás da bovinocultura de leite,” 2009.

CONAMA 357. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005.

CONAMA 430/11. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 430 de 13 de maio de 2011.

COPAM 08/22. Deliberação Normativa Conjunta COPAM-CERH/MG, nº 8 de 21 de novembro de 2022.

Costa, D. e Fonseca, Mauricio “Universidade Federal de Santa Catarina - Centro de Ciências Agrárias - Curso de Zootecnia. Estudo do destino e impacto ambiental das fezes de cães domésticos na grande Florianópolis - SC.”, 2019.

Do, Thi Thuy, Stephen Nolan, Nicky Hayes, Vincent O’Flaherty, Catherine Burgess, Fiona Brennan, e Fiona Walsh. 2022. “Metagenomic and HT-QPCR Analysis Reveal the Microbiome and Resistome in Pig Slurry under Storage, Composting, and Anaerobic Digestion.” *Environmental Pollution* 305 (July): 119271. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119271>.

EPA. (2013). National Pollutant Discharge Elimination System Permit Regulation and Effluent Limitation Guidelines and Standards for Concentrated Animal Feeding Operations (CAFOs); Final Rule. *Federal Register*, 78(31), 9874-9931.

FAO. Irrigation water management: Irrigation water needs. Food and Agriculture Organization of the United Nations. “HIBISCUS: Post-Production Management for Improved Market Access.” n.d. Accessed January 2, 2021. <http://www.fao.org/3/a-av006e.pdf>, (2012).

FDA. Standards for the Growing, Harvesting, Packing, and Holding of Produce for Human Consumption. *Federal Register*, 84(117), 30875-30944. <https://www.fda.gov/media/131229/download>, (2019).

Filer, J. H.; Ding, H.; Chang, S. Biochemical methane potential (BPM) assay method for 443 anaerobic digestion research. *Water*, 11(5), (2019), 921. <https://doi.org/10.3390/w11050921>

Filho, Pedro, et al. Parasitas zoonóticos em fezes de cães em praças públicas do município de Itabuna, Bahia, Brasil. *Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária*, v. 17, n. 4, p.206-209, 2008.

FIRMO, A. L. B. Estudo numérico e experimental da geração de biogás a partir da biodegradação de resíduos sólidos urbanos. 2013. 286 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2013

Forster-Carneiro, T., M. Pérez, e L.I. Romero. “Thermophilic Anaerobic Digestion of Source-Sorted Organic Fraction of Municipal Solid Waste.” *Bioresource Technology* 99, no. 15 (October 2008): 6763–70. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.01.052>.

Gao, Yiming; Kong, Xiaoying; Xing, Tao; Sun, Yongming; Zhang, Yi; Luo, Xingjian; Sun, Yong. Digestion Performance and Microbial Metabolic Mechanism in Thermophilic and Mesophilic Anaerobic Digesters Exposed to Elevated Loadings of Organic Fraction of Municipal Solid Waste. *Energies* 2018, 11, 952; doi:10.3390/en11040952.

- Ge, Jinyi, Guangqun Huang, Xiaoxi Sun, Hongjie Yin, and Lujia Han. “New Insights into the Kinetics of Bacterial Growth and Decay in Pig Manure–Wheat Straw Aerobic Composting Based on an Optimized PMA–QPCR method.” *Microbial Biotechnology* 12, no. 3 (March 5, 2019): 502–14. <https://doi.org/10.1111/1751-7915.13380>.
- Gerba, Charles P, Akrum H Tamimi, Charles Pettigrew, Anne V Weisbrod, e Vijay Rajagopalan. 2011. “Sources of Microbial Pathogens in Municipal Solid Waste Landfills in the United States of America.” *Waste Management & Research* 29 (8): 781–90. <https://doi.org/10.1177/0734242x10397968>.
- Gonçalves, André Marchina. Abandono de animais bate recorde na pandemia e problema não é só brasileiro. [S.l.]: UOL, 2021. Disponível em: <https://www.uol.com.br/nossa/colunas/coluna-do-veterinario/2021/03/11/abandono-deanimais-bate-recorde-na-pandemia-e-problema-nao-e-so-brasileiro.htm>. Acesso em: 4 ago. 2021.
- Holliger, Christof, Madalena Alves, Diana Andrade, Irini Angelidaki, Sergi Astals, Urs Baier, Claire Bougrier, et al. 2016. “Towards a Standardization of Biomethane Potential Tests.” *Water Science and Technology* 74 (11): 2515–22. <https://doi.org/10.2166/wst.2016.336>.
- Hu, Yuansheng, Manoj Kumar, Zhongzhong Wang, Xinmin Zhan, e Dagmar B. Stengel. 2021. “Filamentous Microalgae as an Advantageous Co-Substrate for Enhanced Methane Production and Digestate Dewaterability in Anaerobic Co-Digestion of Pig Manure.” *Waste Management* 119 (January): 399–407. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.10.041>.
- IPB - Instituto Pet Brasil. Anuário Pet. Acesso em: 5 de out. de 2021. Disponível em: <[http://institutopetbrasil.com/wp-content/uploads/2020/10/PETBRASIL\\_Inbook\\_20200924\\_preview.pdf](http://institutopetbrasil.com/wp-content/uploads/2020/10/PETBRASIL_Inbook_20200924_preview.pdf)>, 2020.
- Jabeen, M.; Yousaf, S.; Haider M. R.; Malik, R. N. High-solids anaerobic codigestion of food waste and rice husk at different organic loading rates. *International Biodeterioration & Biodegradation*, [s.l.], v. 102, p. 149–153, 2015
- Jaimes-Estévez, Jaime, Erik Vera Mercado, Juan G. Jaramillo, Paula Rodríguez, Jaime Martí-Herrero, Humberto Escalante, e Liliana Castro. 2022. “From Laboratory to Farm-Scale Psychrophilic Anaerobic Co-Digestion of Cheese Whey and Cattle Manure.” *Bioresource Technology Reports* 19 (September): 101168. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2022.101168>.
- Jaworski, N.A.; Hickey, J.L.S. Cage and kennel wastewater. *Journal of Water Pollution Control Federation*, v.34, n.1, p.40-43, 1962
- Jiang, Hao, Shuangqing Wang, Baochen Li, Lu Feng, Limei Zhai, Hongjun Zhou, Yeqing Li, e Junting Pan. 2022. “Anaerobic Digestion of Organic Fraction of Municipal Solid Waste

Using a Novel Two-Stage Solid-Liquid System.” *Journal of Cleaner Production* 370 (October): 133521. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133521>.

Johannesson, Gudmundur H., Anna Crolla, John D. Lauzon, e Brandon H. Gilroyed. 2020. “Estimation of Biogas Co-Production Potential from Liquid Dairy Manure, Dissolved Air Flotation Waste (DAF) and Dry Poultry Manure Using Biochemical Methane Potential (BPM) Assay.” *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology* 25 (May): 101605. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101605>.

Johnson, James R., Adam L. Stell, e Parissa Delavari. 2001. “Canine Feces as a Reservoir of Extraintestinal Pathogenic *Escherichia Coli*.” Edited by A. D. O’Brien. *Infection and Immunity* 69 (3): 1306–14. <https://doi.org/10.1128/iai.69.3.1306-1314.2001>.

Kafle, GK; Chen, L. Comparação na digestão anaeróbica em batelada de cinco diferentes esterco de gado e previsão do potencial bioquímico de metano (BPM) usando diferentes modelos estatísticos. *Gestão de Resíduos*. 2016 , 48 , 492–502.

Kaur, Harjinder, e Raghava R. Kommalapati. “Optimizing Anaerobic Co-Digestion of Goat Manure and Cotton Gin Trash Using Biochemical Methane Potential (BPM) Test and Mathematical Modeling.” *SN Applied Sciences* 3, no. 8 (July 2, 2021). <https://doi.org/10.1007/s42452-021-04706-1>.

Kasinski, Slawomir. “Mesophilic and Thermophilic Anaerobic Digestion of Organic Fraction Separated during Mechanical Heat Treatment of Municipal Waste.” *Applied Sciences* 10, no. 7 (April 1, 2020): 2412. <https://doi.org/10.3390/app10072412>.

Komarcheuski, A. S. ; Sabchuk, T. T. ; Bastos, T. S. ; Ostapechen, N. ; Merchiori, A. ; Oliveira, S. G. de. (2018). Avaliação das características fecais de cães suplementados com diferentes fontes e níveis de extrato de yucca. *Archives of Veterinary Science* 2018 Vol.23 No.1ESP pp.23-24 ref.1

Kotwa, Jonathon D., Shannon K. French, Tyler Greer, David A. Elsemore, Rita Hanna, Claire M. Jardine, David L. Pearl, J. Scott Weese, Nicola Mercer, and Andrew S. Peregrine. “Prevalence of Intestinal Parasites in Dogs in Southern Ontario, Canada, Based on Fecal Samples Tested Using Sucrose Double Centrifugation and Fecal Dx® Tests.” *Veterinary Parasitology: Regional Studies and Reports* 26 (December 1, 2021): 100618. <https://doi.org/10.1016/j.vprsr.2021.100618>.

Kronhardt Scheffer, Gisele, e Amanda Munari. 2021. “Maus tratados aos animais: Desafios e soluções pós pandemia. *Rev. Estudos Legislativos* (pp. 155–167). [https://submissoes.al.rs.gov.br/index.php/estudos\\_legislativos/article/view/289/203](https://submissoes.al.rs.gov.br/index.php/estudos_legislativos/article/view/289/203).

Labatut, Rodrigo A., Largus T. Angenent, e Norman R. Scott. “Conventional Mesophilic vs. Thermophilic Anaerobic Digestion: A Trade-off between Performance and Stability?” *Water Research* 53 (April 2014): 249–58. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2014.01.035>.

Lei nº 12.305 de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências, [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm).

Lei Complementar nº94, de 18 de dezembro de 2001. Dispões sobre o controle e proteção de populações animais, bem como a prevenção de zoonoses no município de Florianópolis, e dá outras providências.

Lei nº 10.534 de 10 de setembro de 2012. Dispões sobre limpeza urbana, seus serviços e o manejo dos resíduos sólidos urbanos no município de Belo Horizonte e dá outras providências.

Lei Ordinária 8565/2003 de Belo Horizonte MG, 13 de maio de 2003. <https://leismunicipais.com.br/a/mg/b/belo-horizonte/lei-ordinaria/2003/857/8565/lei-ordinaria-n-8565-2003-dispoe-sobre-o-controle-da-populacao-de-caes-e-gatos-e-da-outras-providencias>.

Li, et al., Avaliação do Potencial Bioquímico e Cinética do Metano na Digestão Anaeróbia de Resíduos de Hortaliças. *Energias* 2019 , 12 (1), 26; <https://doi.org/10.3390/en12010026>. acesso: <https://www.mdpi.com/1996-1073/12/1/26>

Linsong, He, Li Lianhua, Li Ying, Wang Changrui, and Sun Yongming. “Bioaugmentation with Methanogenic Culture to Improve Methane Production from Chicken Manure in Batch Anaerobic Digestion.” *Chemosphere* 303 (September 1, 2022): 135127. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.135127>.

Li, Yu, Spyridon Achinas, Jing Zhao, Bert Geurkink, Janneke Krooneman, and Gerrit Jan Willem Euverink. “Co-Digestion of Cow and Sheep Manure: Performance Evaluation and Relative Microbial Activity.” *Renewable Energy* 153 (June 2020): 553–63. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.02.041>.

Londe-Paul, D., Cummings, K. J., Rodriguez-Rivera, L. D., Wu, J., & Lawhon, S. D. (2019). Ciprofloxacin resistance among *Campylobacter jejuni* isolates obtain.

Manyi-Loh, Christy, Sampson Mamphweli, Edson Meyer, Anthony Okoh, Golden Makaka, e Michael Simon. 2013. “Microbial Anaerobic Digestion (Bio-Digesters) as an Approach to the Decontamination of Animal Wastes in Pollution Control and the Generation of Renewable Energy.” *International Journal of Environmental Research and Public Health* 10 (9): 4390–4417. <https://doi.org/10.3390/ijerph10094390>.

- Mata, Rafles Anselmo da. Tratamento termofílico de efluentes de polpa celulósica kraft branqueada com lodo aeróbio granular. Universidade Federal de Viçosa, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Viçosa, 2020.
- Martínez-Sabater, E., García-Muñoz, M., Bonete, P., Rodríguez, M., Sánchez-García, F. B., Pérez-Murcia, M. D., ... Moral, R. (2019). Comprehensive management of dog faeces: Composting versus anaerobic digestion. *Journal of Environmental Management*, 250, 109437. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109437>
- Matos Nascimento, Andressa de, Vanessa Romário de Paula, Edgard Henrique Oliveira Dias, Jailton da Costa Carneiro, e Marcelo Henrique Otenio. 2020. “Quantitative Microbial Risk Assessment of Occupational and Public Risks Associated with Bioaerosols Generated during the Application of Dairy Cattle Wastewater as Biofertilizer.” *Science of the Total Environment* 745 (November): 140711. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140711>.
- McCarty, P.L. Anaerobic waste treatment fundamentals. *Public Works – Parts 1, 2, 3 and 4*. 95, No. 9, pp. 107–112; No. 10, pp. 123–126; No. 11, pp. 91–94; No. 12, pp. 95–99, 1964.
- Mlaik, Najoua, Fatma Karray, Sami Sayadi, Firas Feki, e Sonia Khoufi. 2022. “Semi-Continuous Anaerobic Digestion of the Organic Fraction of Municipal Solid Waste: Digester Performance and Microbial Population Dynamics.” *Journal of Environmental Chemical Engineering* 10 (3): 107941. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.107941>.
- Møller, H. B., S. G. Sommer, e B. K. Ahring. 2004. “Methane Productivity of Manure, Straw and Solid Fractions of Manure.” *Biomass and Bioenergy* 26 (5): 485–95. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2003.08.008>.
- Moset, Veronica, Morten Poulsen, Radziah Wahid, Ole Højberg, e Henrik Bjarne Møller. “Mesophilic versus Thermophilic Anaerobic Digestion of Cattle Manure: Methane Productivity and Microbial Ecology.” *Microbial Biotechnology* 8, no. 5 (March 4, 2015): 787–800. <https://doi.org/10.1111/1751-7915.12271>.
- Nahidan, S. e Ghasemzadeh, M. Biochemical phosphorus transformations in a calcareous soil as affected by earthworm, cow manure and its biochar additions. *Applied Soil Ecology*, vol. 170, fev. de 2022.
- Nemiroff, Leah e Patterson, Judith. Design, Testing and Implementation of a Large-Scale Urban Dog Waste Composting Program. *Compost Science & Utilization*, (2007), Vol. 15, No. 4, 237-242, 2007.
- O’Keefe, B., B.J. D’Arcy, J. Davidson, B. Barbarito, e B. Clelland. 2005. “Urban Diffuse Sources of Faecal Indicators.” *Water Science and Technology* 51 (3-4): 183–90. <https://doi.org/10.2166/wst.2005.0590>.

- Okoroigwe, E. C.; Ibeto, C. N.; Okpara, C. G. Comparative Study of the Potential of Dog Waste for Biogas Production. *Trends in Applied Sciences Research*, vol. 5, p. 71-77, 2010.
- OLIVEIRA, A. B. et al. *Coleção 500 perguntas, 500 respostas*. Embrapa, Brasília, 274 p. 2019.
- Owen, W.F., D.C. Stuckey, J.B. Healy, L.Y. Young, and P.L. McCarty. "Bioassay for Monitoring Biochemical Methane Potential and Anaerobic Toxicity." *Water Research* 13, no. 6 (January 1979): 485–92. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(79\)90043-5](https://doi.org/10.1016/0043-1354(79)90043-5).
- Phetyin, N. et al. Biogas Production from Vegetable Waste by using Dog and Cattle Manure. *Energy Procedia* vol. 79, p. 436 – 441, 2015.
- Rahim, T., Barrios, P. R., McKee, G., McLaws, M., & Kosatsky, T. (2017). Public Health Considerations Associated with the Location and Operation of Off-Leash Dog Parks. *Journal of Community Health*, 43(2), 433–440. <https://doi.org/10.1007/s10900-017-0428-2>.
- Remigi, E, e C Buckley. 2006. "CO-DIGESTION of HIGH STRENGTH / TOXIC ORGANIC EFFLUENTS in ANAEROBIC DIGESTERS at WASTEWATER TREATMENT WORKS." <https://www.wrc.org.za/wp-content/uploads/mdocs/1074-1-061.pdf>.
- Rodríguez, F.; Pérez, J., M. e Romero, L.I. . 2015. "Temperature-Phased Anaerobic Digestion of Industrial Organic Fraction of Municipal Solid Waste: A Batch Study." *Chemical Engineering Journal* 270 (June): 597–604. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2015.02.060>.
- Rosa, A. P. et al. Potencial energético e alternativas para o aproveitamento do biogás e lodo de reatores UASB: estudo de caso Estação de tratamento de efluentes Laboreaux (Itabira). *Engenharia Sanitaria e Ambiental*. 2016, v. 21, n. 2.
- Salas, C.; Spinelli, M; Kawashima, L; Ueda, A. Teores de sódio e lipídios em refeições almoço consumidas por trabalhadores de uma empresa do município de Suzano, SP. *Rev. Nutr.* 22 (3) , jun. de 2009.
- Sanaye, S., Mohammadi, M. H., Yazdani, M., & Barati Rashvanlou, R. (2022). Bio-gas augmentation and waste minimization by co-digestion process in anaerobic digestion system of a municipal waste water treatment plant. *Energy Conversion and Management*, 268, 115989. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.115989>
- Santos, Liliana Andréa dos. Potencial de geração de biogás a partir de resíduos agroindustriais de frutas. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, 2019.
- Scaramozzino, Paola, Andrea Carvelli, Francesca Iacoponi, e Claudio De Liberato. Endoparasites in household and shelter dogs from Central Italy. *International Journal of*

Veterinary Science and Medicine, vol. 6, Edição 1, p. 45-47, jun. de 2018, <https://doi.org/10.1016/j.ijvsm.2018.04.003>.

Secretaria de Estado de Meio-Ambiente e Desenv. Sustentável - SEMAD. Mesmo sem transmitir o coronavírus, cães e gatos têm sido alvo de abandono. Disponível em: <<http://www.meioambiente.mg.gov.br/noticias/4135-mesmo-sem-transmitir-o-coronavirus-caes-e-gatos-tem-sido-alvo-de-abandono>>. Acesso em: 01 de março de 2022.

Shi, Xuchuan, Xianglin Guo, Jiane Zuo, Yajiao Wang, and Mengyu Zhang. “A Comparative Study of Thermophilic and Mesophilic Anaerobic Co-Digestion of Food Waste and Wheat Straw: Process Stability and Microbial Community Structure Shifts.” *Waste Management* 75 (May 2018): 261–69. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.02.004>.

Silva, Gardenia Azevedo; Morais, Joácio Araújo; Rocha, Elisângela Rodrigues. Proposta de procedimento operacional padrão para o teste do Potencial Bioquímico do Metano aplicado a resíduos sólidos urbanos. doi: 10.1590/S1413-41520201600100134484. *Eng Sanit Ambient* | v.21 n.1, 11-16, mar 2016.

Silva, N. Proposta de um sistema de gestão ambiental adaptado a canis municipais. VI Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental Porto Alegre- RS, nov. de 2015.

Simonato, Giulia, Rudi Cassini, Simone Morelli, Angela Di Cesare, Francesco La Torre, Federica Marcer, Donato Traversa, Mario Pietrobelli, e Antonio Frangipane di Regalbono. 2019. “Contamination of Italian Parks with Canine Helminth Eggs and Health Risk Perception of the Public.” *Preventive Veterinary Medicine* 172 (November): 104788. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2019.104788>.

Solé-Bundó, M., Eskicioglu, C., Garfi, M., Carrère, H., & Ferrer, I. (2017). Anaerobic co-digestion of microalgal biomass and wheat straw with and without thermo-alkaline pretreatment. *Bioresource Technology*, 237, 89–98. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.03.151>

Sousa, I. P. ; A.P. Rosa; G.O. R. Cruz; D. N. Rocha; L. A. Nascimento; G. K. Almeida; P. R. Cecon; A. C. Borges. Integrated Assessment of methane production from the co-digestion of swine wastewater and other organic wastes, 2023.

Souza, Camilla Mariane Menezes, Taís Silvino Bastos, Gislaine Cristina Bill Kaelle, Marcelino Bortolo, Ricardo Souza Vasconcellos, Simone Gisele De Oliveira, and Ananda Portella Félix. “Comparison of Cassava Fiber with Conventional Fiber Sources on Diet Digestibility, Fecal Characteristics, Intestinal Fermentation Products, and Fecal Microbiota of Dogs.” *Animal Feed Science and Technology* 281 (November 2021): 115092. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2021.115092>, 2021.

- Sydow, A.C.M.D.G. von; J.A. Coogan, A.M. Moreno, P.A. Melville, N.R. Benites. Ocorrência de fatores de virulência em estirpes de *Escherichia coli* isoladas de fezes de cães errantes. *Arq. Inst. Biol.*, São Paulo, v.73, n.4, p.401-407, out./dez., 2006.
- Taylor, Lyn. Research: Enviro Pet Waste Network. <https://epwn.org/research/>. Publicado em: 16 de setembro de 2004.
- Traversa, D. et al. Zoonotic intestinal parasites and vector-borne pathogens in Italian shelter and kennel dogs. *Comparative Immunology, Microbiology and Infectious Diseases*, vol. 51, p. 69-75, abr. de 2017.
- USDA. National Engineering Handbook, Part 651, Agricultural Waste Management Field Handbook, Chapter 2, (2016).
- USEPA. United States Environmental Protection Agency. Guidelines for water reuse. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, 2004.
- Valença, R. B. Influence of sodium bicarbonate ( $\text{NaHCO}_3$ ) on the methane generation potential of organic food waste. *Journal of Cleaner Production*, vol. 317, out. de 2021.
- Soto, Vivallos, C.; Ruiz Bertín, F.; Robles Calderón, C.; Larionov, M.V.; Arias Ordóñez, P.J.; Cevallos Baque, I. Biodigestion System Made of Polyethylene and Polystyrene Insulator for Dog Farm (on the Example of the Republic of Chile). *Life* 2022, 12, 2039. <https://doi.org/10.3390/life12122039>
- VON SPERLING, M. Lagoas de estabilização. 2 ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA/UFMG), 2006. 196 p. (Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias, v. 3)
- Yang, F.; Li, W.; Sol, M.; Li, Q.; Wang, M.; Sun, Y. Improved Buffering Capacity and Methane Production by Anaerobic Co-Digestion of Corn Stalk and Straw Depolymerization Wastewater. *Energies* 2018, 11, 1751.
- Yadav, Anant, Florent Chazarenc, e Srikanth Mutnuri. 2018. "Development of the 'French System' Vertical Flow Constructed Wetland to Treat Raw Domestic Wastewater in India." *Ecological Engineering* 113 (April): 88–93. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.01.001>.
- Xie, Sihuang, Richard Wickham, e Long D. Nghiem. 2017. "Synergistic Effect from Anaerobic Co-Digestion of Sewage Sludge and Organic Wastes." *International Biodeterioration & Biodegradation* 116 (January): 191–97. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2016.10.037>.
- Xu, Fuqing e Yebo Li. "Solid-State Co-Digestion of Expired Dog Food and Corn Stover for Methane Production." *Bioresour. Technol.* 118 (August 2012): 219–26. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.04.102>.

Zahedi, Soraya, Meritxell Gros, Oriol Casabella, Mira Petrovic, Jose Luis Balcazar, e Maite Pijuan. 2022. “Occurrence of Veterinary Drugs and Resistance Genes during Anaerobic Digestion of Poultry and Cattle Manures.” *Science of the Total Environment* 822 (May): 153477. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153477>.

Zhang et al., 2019 Le Zhang , Kai-Chee Loh , Suseeven Sarvanantharajah , Yen Wah Tong , Chi-Hwa Wang e Yanjun Dai. Digestão anaeróbica mesofílica e termofílica de resíduo de coalhada de soja para produção de metano: caracterizando comunidades bacterianas e metanogênicas e suas correlações com taxa de carga orgânica e temperatura de operação. *Biorecurso. Tecnol.* , 288 ( 2019 ) , pág. 121597

Zhang, Qingfang, Liyuan Zeng, Xin Fu, Feng Pan, Xiaofeng Shi, e Tianfeng Wang. 2021. “Comparison of Anaerobic Co-Digestion of Pig Manure and Sludge at Different Mixing Ratios at Thermophilic and Mesophilic Temperatures.” *Bioresource Technology* 337 (October): 125425. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125425>.

Zhao, J. et al. Potential impact of salinity on methane production from food waste anaerobic digestion. *Waste Management*, vol 67, p. 308-314, set. de 2017.

Zhao, HW; Viraraghavan, T. Analysis of the performance of an anaerobic digestion system at the Regina wastewater treatment plant. *Biorecurso. Tecnol.* 2004 , 95 , 301–307.

Zhen, G. et al. Anaerobic co-digestion on improving methane production from mixed microalgae (*Scenedesmus* sp., *Chlorella* sp.) and food waste: Kinetic modeling and synergistic impact evaluation. *Chemical Engineering Journal*, v. 299, p. 332–341, 2016.