



UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

**Influência da monensina na dieta de bovinos sobre as características
dos dejetos e alternativas de minimizar os impactos no tratamento dos
resíduos**

Dourados – MS

2024

BRENDA KELLY VIANA LEITE

Influência da monensina na dieta de bovinos sobre as características dos dejetos e alternativas de minimizar os impactos no tratamento dos resíduos

Tese apresentada à Universidade Federal da Grande Dourados como parte das exigências para a obtenção do título de Doutora em Zootecnia.

Área de concentração: Produção Animal.

Orientadora: Prof^a Dr^a Ana Carolina Amorim Orrico.

Co-orientador: Prof Dr: Magno Aparecido Gonçalves Trindade.

Dourados – MS

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

L533i Leite, Brenda Kelly Viana

Influência da monensina na dieta de bovinos sobre as características dos dejetos e alternativas de minimizar os impactos no tratamento dos resíduos [recurso eletrônico] / Brenda Kelly Viana Leite. -- 2024.

Arquivo em formato pdf.

Orientadora: Ana Carolina Amorim Orrico.

Coorientador: Magno Aparecido Gonçalves Trindade.

Tese (Doutorado em Zootecnia)-Universidade Federal da Grande Dourados, 2024.

Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:

<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

1. Biodigestão. 2. Compostagem. 3. Ionóforo. 4. Manejo de Resíduos. 5. Reciclagem. I. Orrico, Ana Carolina Amorim. II. Trindade, Magno Aparecido Gonçalves. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.

**INFLUÊNCIA DA MONENSINA NA DIETA DE BOVINOS SOBRE AS
CARACTERÍSTICAS DOS DEJETOS E ALTERNATIVAS DE MINIMIZAR OS
IMPACTOS NO TRATAMENTO DOS RESÍDUOS**

por

BRENDA KELLY VIANA LEITE

Tese apresentada como parte dos requisitos exigidos para obtenção do
título de DOUTORA EM ZOOTECNIA

Aprovado(a) em: 22/02/2024

Documento assinado digitalmente
 ANA CAROLINA AMORIM ORRICO
Data: 27/02/2024 14:26:52-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dra. Ana Carolina Amorim
Orrico Orientador(a) - UFGD

Documento assinado digitalmente
 EDUARDO LUCAS TERRA PEIXOTO
Data: 29/02/2024 14:39:11-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Eduardo Lucas Terra Peixoto
- UFGD

Documento assinado digitalmente
 MARCO ANTONIO PREVIDELLI ORRICO JUNIOR
Data: 27/02/2024 14:41:35-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Marco Antonio Previdelli
Orrico - UFGD

Documento assinado digitalmente
 RUSBEL RAUL ASPICUETA BORQUIS
Data: 29/02/2024 12:56:43-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Rusbel Raul Aspigueta
Borquis - UTFPR

Documento assinado digitalmente
 TANIA MARA BAPTISTA DOS SANTOS
Data: 29/02/2024 00:11:49-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dra. Tânia Mara Baptista dos
Santos - UEMS

BIOGRAFIA DO AUTOR

Brenda Kelly Viana Leite, filha de Alcedina Lúcia da Cruz Viana e Silvio Roberto de Oliveira Leite, nasceu na Cidade de Belém, Estado do Pará, Brasil, em 1992. Em 2010 concluiu o ensino médio e em 2012 ingressou no Curso de Bacharelado em Zootecnia pela Universidade Federal Rural da Amazônia, concluindo em 2017. Em 2018 iniciou o mestrado em Zootecnia, área de concentração em Produção Animal pela Universidade Federal da Grande Dourados, desenvolvendo seu trabalho junto ao grupo de pesquisa “Produção Animal Sustentável: Reciclagem dos Resíduos e Manejo de Forragens”. Foi bolsista pela CAPES no período de outubro de 2018 a março de 2020. Neste mesmo ano, iniciou o doutorado pela Universidade Federal da Grande Dourados, sendo bolsista CAPES de abril de 2021 a fevereiro de 2024.

DEDICATÓRIA

À minha mãe, que sempre me apoiou e me deu forças para não desistir. Também é por ela que cheguei até aqui.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à minha mãe, pois foi por causa e ajuda dela que eu ingressei no mestrado e continuei meu caminho no doutorado, sempre acreditando em mim.

À minha família que sempre me apoiou e ajudou, principalmente quando precisei durante a pandemia.

À minha orientadora Prof.^a Dr^a Ana Carolina, que sempre me orientou da melhor forma possível, tendo muuuita paciência e com certeza, incentivando meu crescimento pessoal e profissional. Serei eternamente grata.

Ao grupo de pesquisa “Produção Animal Sustentável: Reciclagem dos Resíduos e Manejo de Forragens”, em especial para as meninas que me ajudaram a conduzir este trabalho: Juliana Dias, Isabelly Alencar, Erika Cecília, Isabella Menezes, Janaína Freire e Liliane Dauzacker. Além da participação especial da Maria Flor nas pesagens de ração.

Aos professores Marco Orrico, Fernando Vargas, Erika Ota, Eduardo Lucas, Tania Mara e Rusbel Raul, pela participação nas bancas de qualificação e defesa, por suas considerações para este trabalho.

Ao pessoal da FAECA pela doação dos alimentos destinados aos bovinos utilizados neste trabalho.

Ao Prof. Rafael Goés pela doação da monensina utilizada neste trabalho.

Aos seu Luis e Gabriel, que ajudaram muito durante a coleta de resíduos dos bovinos, pois tínhamos medo de levar uma patada.

Muito obrigada a todos!

“Todas as vitórias ocultam uma abdicação”

Simone de Beauvoir

RESUMO GERAL

Capítulo 1 - Este capítulo tem como objetivo fazer uma revisão bibliográfica sobre o uso da monensina na alimentação animal e a utilização de técnicas para a degradação desse ionóforo antes do uso do dejetos animal como adubo orgânico. Este ionóforo é amplamente utilizado como modulador ruminal na bovinocultura por sua ação em reduzir a metanogênese e perdas energéticas. No entanto, dejetos ainda contém monensina e esta pode prejudicar os tratamentos de resíduos com a digestão anaeróbia e compostagem, como a diminuição de produção de biogás ou redução das degradações de material orgânico. Com a técnica de separação de frações sólido-líquido, é possível reduzir quantidades de antibióticos tanto na fração sólida quanto a líquida, o que pode ser favorável para amenizar os prejuízos, além da menor quantidade de material fibroso, o que pode acarretar maior eficiência nos tratamentos de resíduos. **Capítulo 2** – Objetivo: Realizar a caracterização e digestão anaeróbia dos dejetos de bovinos alimentados com inclusões de monensina, com separação das frações em dois tempos de retenção hidráulica (TRH). Foi observado redução nas massas de ST nos dejetos produzidos com o aumento dos níveis de monensina, com 4,76 kg (controle), chegando a 4,05 kg (7,2 mg). As massas de SV e FDN também seguiram o comportamento de ST. No entanto, ocorreu comportamento inverso nas massas de lignina, pois houve aumento de seus teores, partindo de 4,68% (controle) e na maior dose de monensina foi 11,36%. A matéria seca ingerida não foi influenciada pela monensina com média de 10,713 kg dia⁻¹. Na digestão anaeróbia a separação influenciou as reduções de ST, SV e FDN, alcançando maiores reduções e aumentando os potenciais de produção de biogás, metano e sua concentração, em relação aos sem separação. Porém, com o aumento nos níveis de monensina, houve decréscimos nos parâmetros avaliados, nos dois TRH adotados. O TRH20 foi menos eficiente em relação ao TRH30 nas degradações de sólidos e produções de biogás. Assim, recomenda-se para a digestão anaeróbia de dejetos bovinos contendo monensina adoção de TRH de 30 dias, com peneiramento dos substratos para melhor eficiência do processo. **Capítulo 3** – Objetivo: realizar a compostagem dos dejetos de bovinos alimentados com crescentes doses de monensina e separação de frações sólido-líquido. A temperatura se manteve na fase termofílica por quatro semanas consecutivas e, entre a 5ª e 9ª semana, ainda se manteve próxima da faixa termofílica, se igualando a temperatura ambiente nas últimas semanas de compostagem, indicando a finalização do processo. A maioria dos parâmetros avaliados (sólidos totais e voláteis, FDN, FDA, C) foram inicialmente influenciados pela monensina ($p < 0,05$), com tendência a menores reduções no período inicial. No entanto, com o avanço da compostagem, foi possível se obter reduções elevadas mesmo na dose máxima de monensina utilizada. Esse comportamento ocorreu independente do peneiramento. As reduções de N iniciais não foram influenciadas ($p > 0,05$) pela monensina, já para reduções totais os valores obtidos foram semelhantes com 37,2 e 38,51%, para NP e P, respectivamente. As concentrações de NPK (g/kg) não sofreram ($p > 0,05$) influência das doses de monensina em ambos os peneiramentos, com médias de 29,3; 12,9 e 1,2 para não peneirados, e 26,7; 10,4 e 0,9 para peneirados, assim como os picos dos grupos funcionais. Conclui-se as concentrações de monensina utilizadas não influenciaram a qualidade do composto final e nem foi verificada influência do peneiramento na maioria dos parâmetros avaliados. Logo, os dejetos podem ser empregados de forma íntegra para a compostagem.

Palavras-chave: compostagem, digestão anaeróbia, ionóforo, manejo de resíduos.

ABSTRACT

Chapter 1 - This chapter aims to review the literature on the use of monensin in animal feed and the use of techniques for the degradation of this ionophore before using animal waste as an organic fertilizer. This ionophore is widely used as a rumen modulator in cattle farming due to its action in reducing methanogenesis and energy losses. However, there is still monensin in waste and this can harm waste treatments with anaerobic digestion and composting, such as reducing biogas production or reducing degradation of organic material. With the solid-liquid fraction separation technique, it is possible to reduce amounts of antibiotics in both the solid and liquid fractions, which can be favorable for mitigating losses, in addition to the smaller amount of fibrous material, which can result in greater efficiency in waste treatments. **Chapter 2** – Objective: To carry out the characterization and anaerobic digestion of cattle waste fed with monensin inclusions, with separation of the fractions in two hydraulic retention times (HRT). A reduction in ST masses was observed in the waste produced with the increase in monensin levels, with 4.76 kg (control), reaching 4.05 kg (7.2 mg). The masses of SV and FDN also followed the behavior of ST. However, the opposite behavior occurred in the lignin masses, as their levels increased, starting from 4.68% (control), and in the highest dose of monensin, it was 11.36%. The dry matter ingested was not influenced by monensin with an average of 10.713 kg day⁻¹. In anaerobic digestion, separation influenced the reductions of ST, SV, and NDF, achieving greater reductions and increasing the potential to produce biogas, methane, and their concentration, about those without separation. However, with the increase in monensin levels, there was a decrease in the parameters evaluated, in the two HRTs adopted. TRH20 was less efficient compared to TRH30 in solid degradation and biogas production. Therefore, it is recommended for the anaerobic digestion of bovine manure containing monensin to adopt HRT for 30 days, with sieving of substrates for better process efficiency. **Chapter 3** – Objective: to compost waste from cattle fed with increasing doses of monensin and separate solid-liquid fractions. The temperature remained in the thermophilic phase for four consecutive weeks, and between the 5th and 9th week, it remained close to the thermophilic range, equaling the ambient temperature in the last weeks of composting, indicating the completion of the process. Most of the parameters evaluated (total and volatile solids, NDF, ADF, C) were initially influenced by monensin ($p < 0.05$), with a tendency for smaller reductions in the initial period. However, with the advancement of composting, it was possible to obtain high reductions even at the maximum dose of monensin used. This behavior occurred regardless of sieving. The initial N reductions were not influenced ($p > 0.05$) by monensin, whereas for total reductions the values obtained were similar with 37.2 and 38.51%, for NP and P, respectively. NPK concentrations (g/kg) were not influenced ($p > 0.05$) by monensin doses in both sievings, with averages of 29.3, 12.9, and 1.2 for non-sieving, and 26.7, 10.4, and 0.9 for sieved, as well as the peaks of the functional groups. It is concluded that the concentrations of monensin used did not influence the quality of the final compound nor was there any influence of sieving on most of the parameters evaluated. Therefore, the waste can be used completely for composting.

Keywords: composting, anaerobic digestion, ionophore, waste management.

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 2

- Figura 1: Bateria de biodigestores semi-contínuos, em escala experimental.....31
- Figura 2: Peneiramento dos dejetos.....32
- Figura 3: Sólido retido na peneira.....32
- Figura 4: Massas de ST, SV, FDN e lignina (kg) produzidas por bovinos alimentados com crescentes níveis de monensina na dieta.....34
- Figura 5: Redução de ST (%) na digestão anaeróbia dos dejetos produzidos por bovinos alimentados com crescentes níveis de monensina na dieta no tempo de retenção hidráulica de 20 dias. Condição com: com monensina, sem: sem monensina.....37
- Figura 6: Redução de SV (%) na digestão anaeróbia dos dejetos produzidos por bovinos alimentados com crescentes níveis de monensina na dieta no tempo de retenção hidráulica de 20 dias. Condição com: com monensina, sem: sem monensina.....38
- Figura 7: Redução de ST (%) na digestão anaeróbia dos dejetos produzidos por bovinos alimentados com crescentes níveis de monensina na dieta no tempo de retenção hidráulica de 30 dias. Condição com: com monensina, sem: sem monensina.....39
- Figura 8: Redução de SV (%) na digestão anaeróbia dos dejetos produzidos por bovinos alimentados com crescentes níveis de monensina na dieta no tempo de retenção hidráulica de 30 dias. Condição com: com monensina, sem: sem monensina.....39
- Figura 9: Redução de FDN (%) na digestão anaeróbia dos dejetos produzidos por bovinos alimentados com crescentes níveis de monensina na dieta no tempo de retenção hidráulica de 20 dias. Condição com: com monensina, sem: sem monensina.....41
- Figura 10: Redução de FDN (%) na digestão anaeróbia dos dejetos produzidos por bovinos alimentados com crescentes níveis de monensina na dieta no tempo de retenção hidráulica de 30 dias. Condição com: com monensina, sem: sem monensina.....41
- Figura 11: Potencial de produção de biogás (litro/kg ST adicionado) durante a digestão anaeróbia de substratos produzidos a partir de dejetos de bovinos alimentados com crescentes níveis de monensina na dieta no tempo de retenção hidráulica de 20 dias. Condição com: com monensina, sem: sem monensina.....42
- Figura 12: Concentração de metano (%) na digestão anaeróbia dos dejetos produzidos por bovinos alimentados com crescentes níveis de monensina na dieta no tempo de

retenção hidráulica de 20 dias. Condição com: com monensina, sem: sem monensina.....	43
Figura 13: Produção de metano (l/kg de ST adicionados) na digestão anaeróbia dos dejetos produzidos por bovinos alimentados com crescentes níveis de monensina na dieta no tempo de retenção hidráulica de 20 dias. Condição com: com monensina, sem: sem monensina.....	43
Figura 14: Potencial de produção de biogás (litro/kg ST adicionado) durante a digestão anaeróbia de substratos produzidos a partir de dejetos de bovinos alimentados com crescentes níveis de monensina na dieta no tempo de retenção hidráulica de 30 dias. Condição com: com monensina, sem: sem monensina.....	45
Figura 15: Concentração de metano (l/kg de ST adicionados) na digestão anaeróbia dos dejetos produzidos por bovinos alimentados com crescentes níveis de monensina na dieta no tempo de retenção hidráulica de 30 dias. Condição com: com monensina, sem: sem monensina.....	45
Figura 16: Potencial de produção de metano (l/kg de ST adicionados) na digestão anaeróbia dos dejetos produzidos por bovinos alimentados com crescentes níveis de monensina na dieta no tempo de retenção hidráulica de 30 dias. Condição com: com monensina, sem: sem monensina.....	46

Capítulo 3

Figura 17: Médias de temperaturas semanais (base, centro e topo da leira), temperatura ambiente e umidade relativa do ar (UR%) durante o período de compostagem.....	60
Figura 18: Reduções de sólidos totais com crescentes doses de monensina nos dejetos de bovinos não peneirados. T0: controle; T1: 1,8 mg; T2: 3,6 mg; T3: 5,4 mg; T4: 7,2 mg.....	63
Figura 19: Reduções de sólidos totais com crescentes doses de monensina nos dejetos de bovinos peneirados. T0: controle; T1: 1,8 mg; T2: 3,6 mg; T3: 5,4 mg; T4: 7,2 mg.....	64
Figura 20: Reduções de sólidos voláteis com crescentes doses de monensina nos dejetos de bovinos não peneirados. T0: controle; T1: 1,8 mg; T2: 3,6 mg; T3: 5,4 mg; T4: 7,2 mg.....	65
Figura 21: Reduções de sólidos voláteis com crescentes doses de monensina nos dejetos de bovinos peneirados. T0: controle; T1: 1,8 mg; T2: 3,6 mg; T3: 5,4 mg; T4: 7,2 mg.....	66
Figura 22: Reduções de FDN com crescentes doses de monensina nos dejetos de bovinos não peneirados. T0: controle; T1: 1,8 mg; T2: 3,6 mg; T3: 5,4 mg; T4: 7,2 mg.....	67

Figura 23: Reduções de FDN com crescentes doses de monensina nos dejetos de bovinos peneirados. T0: controle; T1: 1,8 mg; T2: 3,6 mg; T3: 5,4 mg; T4: 7,2 mg.....	68
Figura 24: Reduções de FDA com crescentes doses de monensina nos dejetos de bovinos não peneirados. T0: controle; T1: 1,8 mg; T2: 3,6 mg; T3: 5,4 mg; T4: 7,2 mg.....	69
Figura 25: Reduções de FDA com crescentes doses de monensina nos dejetos de bovinos peneirados. T0: controle; T1: 1,8 mg; T2: 3,6 mg; T3: 5,4 mg; T4: 7,2 mg.....	70
Figura 26: Reduções de C com crescentes doses de monensina nos dejetos de bovinos não peneirados. T0: controle; T1: 1,8 mg; T2: 3,6 mg; T3: 5,4 mg; T4: 7,2 mg.....	71
Figura 27: Reduções de C com crescentes doses de monensina nos dejetos de bovinos peneirados. T0: controle; T1: 1,8 mg; T2: 3,6 mg; T3: 5,4 mg; T4: 7,2 mg.....	72
Figura 28: Reduções de N com crescentes doses de monensina nos dejetos de bovinos não peneirados. T0: controle; T1: 1,8 mg; T2: 3,6 mg; T3: 5,4 mg; T4: 7,2 mg.....	73
Figura 29: Reduções de N com crescentes doses de monensina nos dejetos de bovinos peneirados. T0: controle; T1: 1,8 mg; T2: 3,6 mg; T3: 5,4 mg; T4: 7,2 mg.....	74
Figura 30: pH na compostagem de dejetos bovinos não peneirados T0: controle, T1: 1,8 mg, T2: 3,6 mg, T3: 5,4 mg, T4: 7,2 mg.....	75
Figura 31: pH na compostagem de dejetos bovinos peneirados T0: controle, T1: 1,8 mg, T2: 3,6 mg, T3: 5,4 mg, T4: 7,2 mg.....	76
Figura 32: Espectro de FTIR aos 90 dias de compostagem de dejetos bovinos não peneirados.....	78
Figura 33: Espectro de FTIR aos 90 dias de compostagem de dejetos bovinos peneirados.....	79

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1.....	10
1- CONSIDERAÇÕES INICIAIS	10
2- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
3- OBJETIVOS.....	19
3.1- Geral	19
3.2- Específicos.....	19
4- REFERÊNCIAS.....	20
5- CAPÍTULO 2 - Influência da adição de monensina na dieta de bovinos sobre a composição dos dejetos e a digestão anaeróbia como tratamento dos resíduos.....	25
6- RESUMO.....	26
7- INTRODUÇÃO.....	27
8- MATERIAL E MÉTODOS	29
8.1- Local do experimento e animais.....	29
8.2 - Coleta de dejetos.....	30
8.3- Ensaio de digestão anaeróbia.....	30
8.4- Análises laboratoriais	33
8.5- Análise estatística	33
9- RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
9.1- Caracterização dos dejetos.....	34
9.2- Digestão anaeróbia	37
10- CONCLUSÃO.....	48
11- REFERÊNCIA.....	48
12- CAPÍTULO 3 - Compostagem como alternativa para o tratamento dos dejetos de bovinos alimentados com inclusões de monensina na dieta.....	52
13- RESUMO.....	53
14- INTRODUÇÃO.....	54
15- MATERIAL E MÉTODOS	56
15.1- Local do experimento e coleta de dejetos.....	56
15.2- Tratamentos testados e condução da compostagem	57
15.3- Análises laboratoriais	58
15.4- Análise estatística	59
16- RESULTADOS E DISCUSSÃO	60
16.1- Temperatura.....	60

16.2- Reduções de Sólidos Totais e Sólidos Voláteis.....	62
16.3- Reduções de FDN e FDA	67
16.4- Reduções de C e N	70
16.5- Qualidade do composto	76
17- CONCLUSÃO.....	80
18- REFERÊNCIAS	80

CAPÍTULO 1

1- CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O Brasil é um dos principais países de produção animal, e ao se tratar de bovinos, é um dos maiores produtores mundiais de carne e leite (ABIEC, 2023; EMBRAPA, 2023), representando uma das principais atividades econômicas do país. Com o objetivo de aumentar a eficiência produtiva dos ruminantes e reduzir as perdas energéticas, melhoradores de desempenho são utilizados, sendo a monensina o mais utilizado na pecuária brasileira (Bragotto e Silva, 2020). Contudo, questões ambientais são amplamente debatidas e consideradas, devido principalmente à disposição final dos resíduos gerados nas instalações de criação dos animais. As consideráveis quantidades dos antibióticos que permanecem nos resíduos excretados, podem ser contaminantes emergentes em rios (Zhang et al., 2020), lençol freático (Zainab et al., 2020), solos e alimentos (Kang et al., 2013).

Os ionóforos são pouco absorvidos no intestino dos animais e assim acabam sendo excretados nas fezes, por isso vem se tornando uma fonte de estudos devido à preocupação com a resistência microbiana em animais e humanos, transporte e destino desses resíduos, pois entre 30 e 90% do princípio ativo original podem ser excretados pelos animais em geral (Sarmah et al., 2006). Nos resultados de Donoho et al. (1978), foi estimado que aproximadamente 50% da dose inicial (330 mg dia^{-1}) de monensina fornecida a bovinos de corte persistiu nos dejetos. A monensina age melhorando a eficiência alimentar e crescimento dos animais, e sua capacidade de modular a microbiota ruminal em bovinos é discutida em diversos estudos (Pereira et al., 2015; Costa et al., 2018), por isso é amplamente utilizada na produção de bovinos, tanto para corte quando para produção leiteira.

Com o avanço em genética e nutrição, os animais possuem maiores condições para o melhor aproveitamento das dietas, o que pode modificar as taxas de excreção, além das diferenças entre doses ofertadas, o que gera a demanda por novos estudos, pois é crescente a preocupação com os efeitos dos resíduos deste antibiótico no dejetos animal para o meio ambiente (Arikan et al., 2016). Dessa forma, o uso de menores doses de monensina nas dietas pode ser uma alternativa de minimizar as excreções do ionóforo no meio ambiente, com a redução de custos, sem que haja perda de seus efeitos benéficos. Apesar de

pesquisas mais recentes recomendarem doses de monensina mínima de 24 mg kg⁻¹ MSI (matéria seca ingerida) para bovinos com o intuito de se manter a modulação ruminal (Marumo et al., 2023), Tomkins et al. (2015) não observaram influência sobre a MSI e as emissões de CH₄ com o uso de monensina nas doses de 54,35 e 10,90 mg kg⁻¹ MSI na dieta de bovinos.

Há poucos trabalhos relatando as taxas de excreção de monensina pelos animais, talvez pela dificuldade em se coletar na totalidade os dejetos de animais de grande porte, como os bovinos. Outro fator pode ser as limitações em se detectar a monensina em análises laboratoriais, pelo custo dos equipamentos mais eficientes para adequada detecção, ainda pelo fato da monensina ser excretada íntegra e também gerar metabólitos.

O dejetos animal quando fornecido tratamento adequado pode se tornar fonte de energia pela produção de biogás através da digestão anaeróbia, além do biofertilizante. Essa é uma forma amplamente utilizada de tratamento de dejetos que contenham maiores quantidades de água, porém quando implementado junto a técnica de separação de frações sólido-líquido, que é comumente utilizada e visa melhorar o processo de digestão pela retirada de partículas maiores e fibras de difícil degradação (Orrico Júnior et al., 2009), o que pode aumentar a flexibilidade operacional da propriedade e reduzir emissões de gases ao ambiente e odores (Aguirre-Villegas et al., 2019).

Ao se tratar de dejetos animal que contenha antibióticos, a técnica de separação de frações pode ser uma alternativa para reduzir cargas de antibióticos que ocasionalmente irão entrar nos biodigestores, pois com a separação de frações, grande parte da monensina pode ser encontrada na fração sólida (Hurst et al., 2018). A monensina pode causar distúrbios na digestão, reduzindo a produção de biogás e metano, dependendo da carga nos afluentes (Arikan et al., 2018). No entanto, a digestão anaeróbia tem a capacidade de redução das quantidades de monensina, podendo chegar à 70% (Arikan et al., 2018). Na digestão contendo antibióticos, outra questão a ser levada em consideração é o tempo de retenção hidráulica (TRH), pois como relatado por Mwenya et al. (2016), a monensina tem uma influência negativa para o processo de digestão em curtos TRH.

Para a reciclagem das frações sólidas, a compostagem é um método bem descrito como benéfico para redução de massa e patógenos, e para reciclagem de nutrientes, gerando adubo orgânico e a valorização desses resíduos (Czekala et al., 2023). Porém, a compostagem também pode ser uma forma de tratamento capaz de diminuir as

concentrações de resíduos de antibióticos, como relatado por (Arikan et al., 2016), ao compostarem dejetos de vacas leiteiras. Os níveis de monensina diminuíram entre 5-10% das concentrações iniciais após 12 semanas de processo, com uma meia-vida de 2 semanas. Porém, as temperaturas termofílicas apresentadas no trabalho não foram mais eficientes que a temperatura ambiente em diminuir os níveis de monensina. Em estudos com outros ionóforos, a compostagem também foi eficiente em degradar salinomicina (Ramaswamy et al., 2010) e lasalocida (Zizek et al., 2015) após o término do processo, reduzindo os riscos para o uso como fertilizante orgânico.

A monensina pode chegar ao solo por meio da fertilização com o uso de dejetos, além de confinamentos e escoamento, podendo eliminar rapidamente microrganismo, como bactérias heterotróficas (Granados-Chinchilla et al., 2020). Por isso a importância de haver tratamento nesses dejetos, podendo a digestão anaeróbia e a compostagem serem utilizadas para ajudar na degradação de monensina (Arikan et al., 2018; Arikan et al., 2016), e a separação de frações podem diminuir as cargas de monensina tanto na fração líquida quanto na fração sólida nos sistemas de reciclagem (Marti et al., 2020; Hurst et al., 2018).

Dessa forma, justifica-se a busca por informações sobre a eficiência da digestão anaeróbia e compostagem ao longo do tempo, a partir dos dejetos íntegros ou após separação de frações, e o impacto que a monensina pode causar nos processos de tratamento de resíduos.

2- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A partir da ingestão de carboidratos de origem vegetal, os microrganismos ruminais produzem os ácidos graxos de cadeia curta, como: ácido acético, butírico e propiônico, além de CO₂ e metano, havendo nessas transformações uma importante perda energética por meio da produção de metano que ocorre no rúmen. Essa perda energética pela produção de metano pode representar até 12% da energia bruta do alimento consumido, sendo que essa energia poderia ser utilizada para a produção de carne ou leite (Primavesi et al., 2004). Porém, a digestibilidade do alimento fornecido, tipo de volumoso e quantidade de carboidratos estruturais presentes na dieta são fatores que influenciam a produção e consequente emissão de metano (Rivera et al., 2010). Nesse contexto, a participação da monensina como modulador ruminal tem um importante papel para as reduções nas produções de metano e logo, pode promover melhoria na conversão da energia para a produção animal.

A monensina é um ionóforo produzido pela fermentação de bactérias *Streptomyces cinnamomensis*, que atua como um antibiótico modulador da flora ruminal, favorecendo as bactérias gram-negativas em detrimento das gram-positivas, pois a parede celular das bactérias gram-positivas é constituída por uma única camada de peptidoglicano, sem seletividade e susceptível a ação da monensina (Costa et al., 2018). Já as gram-negativas, possuem uma parede celular e uma camada de proteção que contém canais de porinas, que permitem a passagem de moléculas com limite de 600 Daltons, e a maioria das moléculas de ionóforos são maiores, o que impede a monensina de passar para o meio intracelular (Costa et al., 2018).

Quando a monensina se liga à parede celular das bactérias-gram positivas, há uma facilidade em transportar Na⁺ para dentro da célula e reduzir K⁺, assim, a célula ativa o transporte de Na⁺ e H⁺ para o meio externo a fim de manter o equilíbrio. Porém, há gasto excessivo de energia para manutenção da homeostase, o que leva a célula microbiana a morte. As bactérias gram-positivas têm como produtos ácido acético e butírico que liberam grandes quantidades de H₂ que é utilizado para a produção de CH₄, e com menor quantidade de bactérias gram-positivas, logo há menor produção de CH₄ pelos animais (Bragotto e Silva, 2020).

O efeito da monensina em vacas holandesas lactantes alimentadas com 60:40 (forragem: concentrado) foi avaliada com a dosagem de 24 mg de monensina kg⁻¹ de MSI,

que resultou no decréscimo de 7% da produção de CH₄ em relação ao grupo controle, porém não afetou a produção de leite e nem a MSI (Odongo et al., 2007). Resultado similar foi encontrado por Kozerski et al. (2017) ao utilizarem 300 mg de monensina animal⁻¹ dia⁻¹ em vacas mestiças Holandês x Gir. A monensina não afetou a produção de leite e MSI, porém melhorou na digestibilidade dos nutrientes e digestão de fibras. Em contrapartida, Gandra et al. (2010) ao adicionarem 24 ou 48 mg de monensina kg⁻¹ de MSI na dieta de vacas holandesas em lactação, observaram decréscimo na MSI e aumento de 2,7% na produção de leite, e de gordura do leite, sem alterar a fração proteica em ambas as doses. Com menores dosagens de monensina na dieta de vacas leiteiras (7,77; 15,95 e 23,80 mg kg⁻¹), Phipps et al. (2000) não observaram diferença na produção de leite e ganho de peso dos animais.

Para o efeito antimetanogênico da monensina, os resultados da meta-análise realizada por Appuhamy et al. (2013) demonstraram maior efeito da monensina em reduzir as emissões de CH₄ em animais de corte e menor efeito em animais leiteiros, porém, isso foi justificado pela maior dosagem usada em média em animais de corte em comparação com leiteiros (32 mg e 21 mg kg⁻¹ de MSI, respectivamente). Os autores afirmam que a MSI é o fator que mais influencia a emissão de CH₄ em vacas leiteiras, onde para cada 1kg de aumento na MSI sem ajuste na dose de monensina, há redução do potencial de ação da monensina em 1,4 g/dia de metano (Appuhamy et al., 2013).

O uso da monensina é uma alternativa de manejo que possibilita a produção de bovinos de forma mais eficiente, principalmente com menor perda energética devido a mitigação da metanogênese, o que é benéfico ao ambiente por reduzir a emissão de gases de efeito estufa. A ação da monensina como melhorador de produção é amplamente discutida, por outro lado, a taxa de excreção deste antibiótico pelos animais ainda é pouco descrita na literatura e não há um consenso sobre as proporções excretadas, pois parece existir dependência de fatores como a dose ofertada, condição do animal e tempo de tratamento, o que também afeta a sua detecção (Oliver et al., 2020). No geral, grande parte dos antibióticos são pouco absorvidos no intestino dos animais, podendo ter uma taxa de excreção de até 90% do inicial ofertado (Sarmah et al., 2006).

Um dos primeiros trabalhos que relatam a quantidade de monensina excretada no dejetos animal foi realizado por Donoho et al. (1978), com novilhos de corte e os autores relatam que cerca de 50% da dose administrada (330 mg dia⁻¹) foi excretada nas fezes. Já quando empregada na alimentação de vacas produtoras de leite, Spirito et al. (2018)

obtiveram uma taxa de excreção relativamente baixa, de 13% de monensina nos dejetos, ofertando doses entre 194 e 546 mg animal⁻¹ dia⁻¹. Esses autores inferem que a diferença pode ser devida à distintas dietas e taxa de passagem dos alimentos pelos animais. Em outro estudo com amostras de dejetos de vacas produtoras de leite consumindo monensina na dose de 3 mg kg⁻¹ de MSI, foram recuperadas 1.351 e 459 µg de monensina kg⁻¹ de dejetos secos, pela extração com metanol e água, respectivamente, após o tratamento em lagoas de microcosmos (Hafner et al., 2017).

Em ensaio conduzido por Arikan et al. (2016), ao coletarem dejetos de vacas leiteiras de uma unidade de pesquisa, detectaram a presença de monensina em baixa concentração, 1,0 mg kg⁻¹ de massa seca, contudo, não foi relatada a dieta ou dose de monensina ofertadas aos animais. As quantidades de monensina encontradas nos dejetos podem variar amplamente, pois dependem do manejo aplicado em cada propriedade, assim como o reportado por Hill et al. (2021). Em seu estudo, as concentrações de monensina variaram entre 24,1 e 801,27 µg kg⁻¹ de dejetos secos em amostras coletadas de 40 laticínios. Em relação aos outros antibióticos (sulfadimetoxina, sulfametazina, tetraciclina, clorotetraciclina, oxitetraciclina) encontrados nos dejetos deste mesmo estudo, a monensina foi a de ocorrência mais frequente, pois é um dos poucos promotores permitidos para animais leiteiros nos EUA, assim como no Brasil.

Os dejetos gerados a partir da produção animal são comumente utilizados como substratos para a geração de fertilizantes orgânicos, porém, a discussão sobre a presença de antibióticos nesses resíduos e sua contaminação para o meio ambiente, animais e humanos é recente e vem crescendo nos últimos anos também pelo desenvolvimento de microrganismos resistentes aos antibióticos, tanto em animais quanto em humanos (Oliver et al., 2020).

Um estudo conduzido por Kang et al. (2013) com objetivo de avaliar a absorção de antibióticos por vegetais, foi realizado utilizando-se dejetos de peru e suíno (líquido), contaminados com 39,5 e 22,6 mg de monensina l⁻¹ de efluente, respectivamente. A compostagem desse material foi realizada antes da aplicação no solo e comparada com a utilização de dejetos frescos, sem o prévio tratamento, sendo que mesmo para essa condição de ausência de tratamento, o valor mais elevado de concentração de monensina nos vegetais foi de 3µg kg⁻¹, a qual não representa risco à saúde humana. Kang et al. (2013) ainda levantam hipóteses que as baixas concentrações de antibióticos encontradas têm relação com os maiores teores de argila e matéria orgânica que podem potencializar

a ligação com antibiótico e o tornar menos disponível para plantas; além do enraizamento das plantas em condições de campo ser mais profundo, não sendo assim expostas a presença dos antibióticos (Kang et al., 2013). Os autores sugerem o uso da compostagem como manejo dos dejetos antes de qualquer aplicação no solo.

A presença de antibióticos é mais comum de ser detectada em locais próximos às instalações animais (Mooney et al., 2020). No Brasil, devido à grande densidade de criação animal para produção, as Regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul têm grande parte do seu território vulnerável a contaminação do lençol freático, incluindo antibióticos como a monensina (Yopasá-Arenas e Fostier, 2018). Pelo uso generalizado de antibióticos e a preocupação com o potencial de contaminação ao ambiente, além do surgimento de genes resistentes (Oliver et al., 2020) e solos susceptíveis à contaminação (Yopasá-Arenas e Fostier, 2018), fica evidente a necessidade do tratamento dos resíduos da produção animal que contenham monensina antes do seu reuso, com o intuito de reduzir a carga desse medicamento.

A digestão anaeróbia vem sendo investigada como atenuador de cargas de antibióticos, sendo que para a monensina, Arikan et al. (2018) alcançaram redução de 70% da concentração inicial em relação a final na digestão de dejetos de vacas leiteiras. Porém, com a concentração de 10 mg de monensina l⁻¹ de substrato inicial nos biodigestores, ocorreu decréscimo nas produções de biogás e metano, sendo que na inclusão de 1 mg de monensina l⁻¹ não foi observada diferença em relação ao controle (Arikan et al., 2018). Entretanto, mesmo em valores relativamente baixos de monensina (0,19 mg l⁻¹) no afluente da digestão de dejetos de vacas leiteiras, Spirito et al. (2018) não observaram grandes reduções na carga de monensina, além de redução na produção de metano, principalmente quando a concentração de monensina foi elevada para 5 mg l⁻¹. Isso pode ocorrer pois os antibióticos inibem a atividade dos microrganismos em todas as fases da digestão anaeróbia (hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese) (Rani et al., 2022). Por isso, técnicas que possam atenuar a entrada de antibióticos nos biodigestores podem representar uma alternativa de reduzir os impactos causados por esses produtos sobre a eficiência do processo.

A técnica de separação da fração sólido-líquida pode ser empregada nos sistemas de manejo de dejetos. Esta técnica é comumente realizada em algumas unidades de produção de animais leiteiros, pela separação mecânica das duas frações, para então, a parte líquida ser destinada para lagoas de tratamentos (Hafner et al., 2017), pela separação

de frações reduzir partículas mais grosseiras e fibras de difícil degradação, o que pode aumentar a eficiência do processo (Orrico Júnior et al., 2009). Entretanto, em estudo conduzido por Hafner et al. (2017), foi observado que após 36 dias, a concentração de monensina demonstrou estabilidade em lagoas sem aeração e decréscimo em lagoas aeradas, independente da separação. Este estudo demonstrou que somente a separação de frações não é suficiente para reduzir cargas de antibióticos, sugerindo a compostagem como técnica para a parte sólida, pois uma considerável quantidade de monensina ainda permanece nessa fração.

As concentrações de monensina e lasalocida analisadas por Hurst et al. (2018), foram maiores na fração sólida de dejetos de animais leiteiros após a separação de frações. Esse comportamento pode estar ligado a fatores físico-químicos destes ionóforos, pois são altamente hidrofóbicos ($\log K_{ow} = 5,42$ para monensina), sugerindo alto potencial para adsorção à matéria orgânica (Hurst et al., 2018). Para a separação de fases nos resíduos vindos da suinocultura, a maior concentração de antibióticos foi encontrada na fração líquida, porém, cerca de 36% da carga de antibióticos ainda permaneceu na parte sólida, também sendo recomendado o manejo desses resíduos antes do uso na agricultura, sendo a compostagem a mais indicada (Marti et al., 2020).

Dessa maneira, a compostagem é uma forma amplamente utilizada para estabilização do material orgânico e redução de patógenos e odores (Orrico Junior et al., 2018). Com as altas temperaturas alcançadas na fase termofílica da compostagem (acima de 45°C), isto poderia ajudar na rápida redução dos níveis de monensina, assim como foi observado com a clortetraciclina (Arikan et al., 2009). As altas temperaturas utilizadas no estudo conduzido por Arikan et al. (2016), contudo, não influenciaram a redução de monensina em dejetos de vacas incubados em diferentes temperaturas, tendo a temperatura ambiente (22°C) um efeito de decréscimo nas quantidades do ionóforo mais rápido que em temperatura termofílica, com tempo de meia vida de 2 semanas, e chegando a 5 % do conteúdo inicial após 12 semanas (Arikan et al., 2016).

O decréscimo de antibióticos nos dejetos também depende de como o processo de compostagem é conduzido. Na compostagem de dejetos de aves foram encontradas reduções de 35,6 e 39,9% do material inicial de monensina quando tratadas com aeração forçada ou revolvimento + aeração forçada, respectivamente, e menos de 20% de redução de monensina foi observada na condição com apenas revolvimento (Munaretto et al., 2016). Os autores reforçam que as mudanças que ocorrem ao longo do processo na

compostagem como a umidade, temperatura, oxigênio e comunidade de microrganismos, que são naturais da compostagem, podem exercer um papel fundamental na concentração de antibióticos ao final do processo.

Na compostagem de dejetos de perus conduzida em três formas diferentes: em leiras com pouco manejo, em leiras com manejo mais intensivo e no sistema em vessel, houve um decréscimo gradual da monensina, reduzindo em média 54% do valor inicial, sem diferença entre as condições (Dolliver et al., 2008). O tempo de meia vida da monensina foi de 22, 19 e 11 dias (pouco manejo, manejo intensivo e vessel, respectivamente). O tempo de compostagem (máximo de 35 dias) pode ter afetado tanto a redução de monensina quanto a redução de massa, que obteve máxima de 28,5% no sistema em vessel (Dolliver et al., 2008), sendo um valor abaixo do esperado para a compostagem que é em torno dos 50% (Sunada et al., 2015). Apesar disso, é possível observar que independente da forma como a compostagem é conduzida, há um resultado benéfico em relação à degradação de antibióticos, reiterando a necessidade do tratamento de resíduos antes de sua utilização como adubo orgânico e sua aplicação ao solo.

Os resultados obtidos por Storteboom et al. (2007) foram próximos aos autores acima citados, pois na compostagem de dejetos de equinos em que os autores os contaminaram com monensina, o tempo de meia vida da monensina no manejo intenso foi de 15 dias, enquanto a menos manejada foi de 30 dias. Mas ao final do período de 140 dias, não houve diferença nas concentrações em ambos os manejos aplicados. A monensina é menos solúvel em água que outros antibióticos (como a tilosina e clortetraciclina), o que pode dificultar a sua biodisponibilidade, por isso a necessidade de estudar diferentes tipos de antibióticos e como vão se comportar junto ao tratamento de resíduos, pois suas diferenças físico-químicas interferem no tempo necessário para sua degradação (Storteboom et al., 2007).

A separação de fases sólido-líquido é discutida mais recentemente como forma de aproveitar ao máximo o digestato sólido após a digestão anaeróbia, enviando-o para a compostagem, que pode resultar em um material ainda de maior qualidade do que somente o material compostado (Czekala et al., 2023), ou em efluentes bovinos como forma de reduzir emissões de gases no armazenamento de efluentes em lagoas de tratamento (Zhang et al., 2022). No entanto, a separação com intuito de redução de danos nos processos de compostagem e digestão anaeróbia causados por antibióticos ainda não é reportado, porém, com esse manejo, é possível reciclar resíduos e recuperar nutrientes

de forma que estes voltem para o ambiente com menor risco possível os seres vivos e sendo benéfico ao solo (Grell et al., 2023).

3- OBJETIVOS

3.1- Geral

- Avaliar os impactos da monensina na alimentação de bovinos sobre as características dos dejetos gerados e sua utilização na digestão anaeróbia e compostagem como formas de tratamento de resíduos.

3.2- Específicos

- Caracterizar os dejetos gerados por bovinos alimentados com doses de monensina na dieta;
- Avaliar o impacto das inclusões de monensina nas dietas de bovinos sobre a digestão anaeróbia dos dejetos;
- Realizar a compostagem dos dejetos de bovinos alimentados com monensina na dieta e avaliar se houve impacto na degradação dos constituintes sólidos e qualidade do composto.

4- REFERÊNCIAS

ABIEC. Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes – Beef Report. 2023.

AGUIRRE-VILLEGAS, H. A.; LARSON, R. A.; SHARARA, M. A. Anaerobic digestion, solid-liquid separation, and drying of dairy manure: Measuring constituents and modeling emission. *Science of the Total Environment*, vol. 696, p. 134059, 2019. DOI 10.1016/j.scitotenv.2019.134059. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134059>.

APPUHAMY, J. A. D. R. N.; STRATHE, A. B.; JAYASUNDARA, S.; WAGNER-RIDDLE, C.; DIJKSTRA, J.; FRANCE, J.; KEBREAB, E. Anti-methanogenic effects of monensin in dairy and beef cattle: A meta-analysis. *Journal of Dairy Science*, vol. 96, no. 8, p. 5161–5173, 2013. DOI 10.3168/jds.2012-5923. Available at: <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2012-5923>.

ARIKAN, O. A.; MULBRY, W.; RICE, C. Management of antibiotic residues from agricultural sources: Use of composting to reduce chlortetracycline residues in beef manure from treated animals. *Journal of Hazardous Materials*, vol. 164, no. 2–3, p. 483–489, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.08.019>.

ARIKAN, O. A.; MULBRY, W.; RICE, C. The effect of composting on the persistence of four ionophores in dairy manure and poultry litter. *Waste Management*, vol. 54, p. 110–117, 2016. DOI 10.1016/j.wasman.2016.04.032. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2016.04.032>.

ARIKAN, O. A.; MULBRY, W.; RICE, C.; LANSING, S. The fate and effect of monensin during anaerobic digestion of dairy manure under mesophilic conditions. *PLoS ONE*, vol. 13, no. 2, p. 1–12, 2018. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0192080>.

BRAGOTTO, A. P. A.; SILVA, F. R. N. Ionóforos Poliéteres Na Cadeia Produtiva De Leite E Derivados: Uma Revisão. *Tecnologia de Alimentos: Tópicos Físicos, Químicos e Biológicos - Volume 3*, p. 267–288, 2020. <https://doi.org/10.37885/201001756>.

COSTA, L. F. X.; OLIVEIRA, I. L. da S.; RODRIGUES, L. G. S.; RESENDE, V. C. de S.; COSTA, R. X. Viabilidade da utilização da monensina sódica na alimentação de ruminantes: revisão de literatura. *Nutritime*, vol. 15, no. 1, p. 8115–8121, 2018.

CZEKAŁA, W.; NOWAK, M.; PIECHOTA, G. Sustainable management and recycling of anaerobic digestate solid fraction by composting: A review. *Bioresource Technology*, vol. 375, no. February, p. 128813, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2023.128813>.

DOLLIVER, H.; GUPTA, S.; NOLL, S. Antibiotic Degradation during Manure Composting. *Journal of Environmental Quality*, vol. 37, no. 3, p. 1245–1253, 2008. <https://doi.org/10.2134/jeq2007.0399>.

DONOHO, A.; MANTHEY, J.; OCCOLOWITZ, J.; ZORNES, L. Metabolism of Monensin in the Steer and Rat. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 26, no. 5, p. 1090–1095, 1978. <https://doi.org/10.1021/jf60219a005>.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Gado de Leite) – Anuário Leite – Leite Baixo Carbono. 2023.

GANDRA, J. R.; RENNÓ, F. P.; FREITAS JÚNIOR, J. E. de; SANTOS, M. V. dos; SILVA, L. F. P. e; ARAÚJO, A. P. C. de. Productive performance and milk protein fraction composition of dairy cows supplemented with sodium monensin. *Revista Brasileira de Zootecnia*, vol. 39, no. 8, p. 1810–1817, 2010. <https://doi.org/10.1590/s1516-35982010000800025>.

GRANADOS-CHINCHILLA, F.; ARIAS-ANDRÉS, M. de J.; FERNÁNDEZ MONTES DE OCA, M. L.; RODRÍGUEZ, C. Effect of the veterinary ionophore monensin on the structure and activity of a tropical soil bacterial community. *Journal of Environmental Science and Health - Part B Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes*, vol. 55, no. 2, p. 127–134, 2020. DOI 10.1080/03601234.2019.1673612. Available at: <https://doi.org/10.1080/03601234.2019.1673612>.

GRELL, T.; MARCHUK, S.; WILLIAMS, I.; MCCABE, B. K.; TAIT, S. Resource recovery for environmental management of dilute livestock manure using a solid-liquid separation approach. *Journal of Environmental Management*, vol. 325, no. PA, p. 116254, 2023. DOI 10.1016/j.jenvman.2022.116254. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116254>.

HAFNER, S. C.; WATANABE, N.; HARTER, T.; BERGAMASCHI, B. A.; PARIKH, S. J. Effects of solid-liquid separation and storage on monensin attenuation in dairy waste management systems. *Journal of Environmental Management*, vol. 190, p. 28–34, 2017. DOI 10.1016/j.jenvman.2016.12.024. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.12.024>.

HILL, D.; MORRA, M. J.; STALDER, T.; JECHALKE, S.; TOP, E.; POLLARD, A. T.; POPOVA, I. Dairy manure as a potential source of crop nutrients and environmental contaminants. *Journal of Environmental Sciences (China)*, vol. 100, no. 3, p. 117–130, 2021. DOI 10.1016/j.jes.2020.07.016. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jes.2020.07.016>.

HURST, J. J.; WALLACE, J. S.; AGA, D. S. Method development for the analysis of ionophore antimicrobials in dairy manure to assess removal within a membrane-based treatment system. *Chemosphere*, vol. 197, p. 271–279, 2018. DOI 10.1016/j.chemosphere.2018.01.028. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.01.028>.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – Produção de Leite. 2022. Acesso em: 22/12/2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/leite/br>

KANG, D. H.; GUPTA, S.; ROSEN, C.; FRITZ, V.; SINGH, A.; CHANDER, Y.; MURRAY, H.; ROHWER, C. Antibiotic uptake by vegetable crops from manure-applied soils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 61, no. 42, p. 9992–10001, 2013. <https://doi.org/10.1021/jf404045m>.

KOZERSKI, N. D.; SIGNORETTI, R. D.; SOUZA, J. C.; SOUZA DALEY, V.; FREITAS, J. A. Use of monensin in lactating crossbred dairy cows (Holstein × Gyr) raised on tropical pastures with concentrate supplementation. *Animal Feed Science and Technology*, vol. 232, p. 119–128, 2017. DOI 10.1016/j.anifeedsci.2017.08.007. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2017.08.007>.

MARTI, E.; GROS, M.; BOY-ROURA, M.; OVEJERO, J.; BUSQUETS, A. M.; COLÓN, J.; PETROVIC, M.; PONSÁ, S. Pharmaceuticals removal in an on-farm pig

slurry treatment plant based on solid-liquid separation and nitrification-denitrification systems. *Waste Management*, vol. 102, p. 412–419, 2020. DOI 10.1016/j.wasman.2019.11.001. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.11.001>.

MOONEY, D.; RICHARDS, K. G.; DANAHER, M.; GRANT, J.; GILL, L.; MELLANDER, P. E.; COXON, C. E. An investigation of anticoccidial veterinary drugs as emerging organic contaminants in groundwater. *Science of the Total Environment*, vol. 746, p. 141116, 2020. DOI 10.1016/j.scitotenv.2020.141116. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141116>.

MUNARETTO, J. S.; YONKOS, L.; AGA, D. S. Transformation of ionophore antimicrobials in poultry litter during pilot-scale composting. *Environmental Pollution*, vol. 212, p. 392–400, 2016. DOI 10.1016/j.envpol.2016.01.066. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2016.01.066>.

MWENYA, B.; SAR, C.; PEN, B.; MORIKAWA, R.; TAKAURA, K.; KOGAWA, S.; KIMURA, K.; UMETSU, K.; TAKAHASHI, J. Effect of feed additives on ruminal methanogenesis and anaerobic fermentation of manure in cows and steers. *International Congress Series*, vol. 1293, p. 209–212, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.ics.2006.03.027>.

ODONGO, N. E.; BAGG, R.; VESSIE, G.; DICK, P.; OR-RASHID, M. M.; HOOK, S. E.; GRAY, J. T.; KEBREAB, E.; FRANCE, J.; MCBRIDE, B. W. Long-term effects of feeding monensin on methane production in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, vol. 90, no. 4, p. 1781–1788, 2007. DOI 10.3168/jds.2006-708. Available at: <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2006-708>.

OLIVER, J. P.; GOOCH, C. A.; LANSING, S.; SCHUELER, J.; HURST, J. J.; SASSOUBRE, L.; CROSSETTE, E. M.; AGA, D. S. Invited review: Fate of antibiotic residues, antibiotic-resistant bacteria, and antibiotic resistance genes in US dairy manure management systems. *Journal of Dairy Science*, vol. 103, no. 2, p. 1051–1071, 2020. DOI 10.3168/jds.2019-16778. Available at: <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2019-16778>.

ORRICO JUNIOR, M. A. P.; ORRICO, A. C. A.; LUCAS JÚNIOR, J. de. Compostagem da fração sólida da água residuária de suinocultura. *Eng. Agríc., Jaboticabal*, vol. 29, p. 483–491, 2009.

ORRICO JUNIOR, M. A. P.; ORRICO, A. C. A.; MANARELLI, D. M.; LOPES, W. R. T.; SCHWINGEL, A. W. Estimated Reduction in Solids During Sheep Bedding Composting as a Function of the Composition of the Organic Fractions. *Compost Science and Utilization*, vol. 26, no. 2, p. 91–97, 2018. DOI 10.1080/1065657X.2017.1379916. Available at: <https://doi.org/10.1080/1065657X.2017.1379916>.

PEREIRA, M. C. S.; CARRARA, T. V. B.; SILVA, J. da; SILVA, D. P.; WATANABE, D. H. M.; TOMAZ, L. A.; ARRIGONI, M. D. B.; MILLEN, D. D. Effects of different doses of sodium monensin on feeding behaviour, dry matter intake variation and selective consumption of feedlot Nellore cattle. *Animal Production Science*, vol. 55, p. 170–173, 2015. <https://doi.org/10.4025/reveducfis.v22i3.10348>.

PHIPPS, R. H.; WILKINSON, J. I. D.; JONKER, L. J.; TARRANT, M.; JONES, A. K.; HODGE, A. Effect of monensin on milk production of Holstein-Friesian dairy cows. *Journal of Dairy Science*, vol. 83, no. 12, p. 2789–2794, 2000. DOI 10.3168/jds.S0022-0302(00)75176-9. Available at: [http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(00\)75176-9](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(00)75176-9).

PRIMAVESI, O.; FRIGHETTO, R. T. S.; PEDREIRA, M. dos S.; LIMA, M. A. de; BERCHIELLI, T. T.; BARBOSA, P. F. Metano entérico de bovinos leiteiros em condições tropicais brasileiras. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, vol. 39, no. 3, p. 277–283, 2004. <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2004000300011>.

RAMASWAMY, J.; PRASHER, S. O.; PATEL, R. M.; HUSSAIN, S. A.; BARRINGTON, S. F. The effect of composting on the degradation of a veterinary pharmaceutical. *Bioresource Technology*, vol. 101, no. 7, p. 2294–2299, 2010. DOI 10.1016/j.biortech.2009.10.089. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2009.10.089>.

RIVERA, A. R.; BERCHIELLI, T. T.; MESSANA, J. D.; VELASQUEZ, P. T.; FRANCO, A. V. M.; FERNANDES, L. B. Fermentação ruminal e produção de metano em bovinos alimentados com feno de capim-tifton 85 e concentrado com aditivos. *Revista Brasileira de Zootecnia*, vol. 39, no. 3, p. 617–642, 2010. <https://doi.org/10.1590/s1516-35982010000300022>.

SARMAH, A. K.; MEYER, M. T.; BOXALL, A. B. A. A global perspective on the use, sales, exposure pathways, occurrence, fate and effects of veterinary antibiotics (VAs) in the environment. *Chemosphere*, vol. 65, no. 5, p. 725–759, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2006.03.026>.

SPIRITO, C. M.; DALY, S. E.; WERNER, J. J.; ANGENENT, L. T. Redundancy in anaerobic digestion microbiomes during disturbances by the antibiotic monensin. *Applied and Environmental Microbiology*, vol. 84, no. 9, p. 1–18, 2018. <https://doi.org/10.1128/AEM.02692-17>.

STORTEBOOM, H. N.; KIM, S.; DOESKEN, K. C.; CARLSON, K. H.; DAVIS, J. G.; PRUDEN, A. Response of Antibiotics and Resistance Genes to High-Intensity and Low-Intensity Manure Management. *Journal of Environmental Quality*, vol. 36, no. 6, p. 1695–1703, 2007. <https://doi.org/10.2134/jeq2007.0006>.

SUNADA, N. S.; ORRRICO, A. C. A.; ORRRICO JUNIOR, M. A. P.; CENTURION, S. R.; OLIVEIRA, A. B. M. O.; FERNANDES, A. R. M.; LUCAS JUNIOR, J.; SENO, L. O. Compostagem de resíduo sólido de abatedouro avícola Composting of solid waste from poultry slaughterhouse. *Ciencia Rural*, p. 1–6, 2015. Available at: <http://www.scielo.br/pdf/cr/2014nahead/0103-8478-cr-0103-8478cr20120261.pdf>.

TOMKINS, N. W.; DENMAN, S. E.; PILAJUN, R.; WANAPAT, M.; MCSWEENEY, C. S.; ELLIOTT, R. Manipulating rumen fermentation and methanogenesis using an essential oil and monensin in beef cattle fed a tropical grass hay. *Animal Feed Science and Technology*, vol. 200, no. 1, p. 25–34, 2015. DOI 10.1016/j.anifeedsci.2014.11.013. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.11.013>.

YOPASÁ-ARENAS, A.; FOSTIER, A. H. Exposure of Brazilian soil and groundwater to pollution by coccidiostats and antimicrobial agents used as growth promoters. *Science of the Total Environment*, vol. 644, p. 112–121, 2018. DOI 10.1016/j.scitotenv.2018.06.338. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.338>.

ZAINAB, S. M.; JUNAID, M.; XU, N.; MALIK, R. N. Antibiotics and antibiotic resistant genes (ARGs) in groundwater: A global review on dissemination, sources, interactions, environmental and human health risks. *Water Research*, vol. 187, p. 116455, 2020. DOI

10.1016/j.watres.2020.116455. Available at:
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116455>.

ZHANG, G.; LIU, X.; LU, S.; ZHANG, J.; WANG, W. Occurrence of typical antibiotics in Nansi Lake's inflowing rivers and antibiotic source contribution to Nansi Lake based on principal component analysis-multiple linear regression model. *Chemosphere*, vol. 242, p. 125269, 2020. DOI 10.1016/j.chemosphere.2019.125269. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125269>.

ZHANG, X.; LIU, C.; LIAO, W.; WANG, S.; ZHANG, W.; XIE, J.; GAO, Z. Separation efficiency of different solid-liquid separation technologies for slurry and gas emissions of liquid and solid fractions: A meta-analysis. *Journal of Environmental Management*, vol. 310, no. February, p. 114777, 2022. DOI 10.1016/j.jenvman.2022.114777. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114777>.

ŽIŽEK, S.; DOBEIC, M.; PINTARIČ, Š.; ZIDAR, P.; KOBAL, S.; VIDRIH, M. Degradation and dissipation of the veterinary ionophore lasalocid in manure and soil. *Chemosphere*, vol. 138, p. 947–951, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.12.032>.

5-CAPÍTULO 2

**Influência da adição de monensina na dieta de bovinos sobre a
composição dos dejetos e a digestão anaeróbia como tratamento dos
resíduos**

6- RESUMO

A monensina é um ionóforo utilizado para mitigação de perdas energéticas na produção de bovinos. Porém é importante realizar a caracterização de dejetos vindos de animais alimentados com monensina e saber como ela afeta os teores de massas e nutrientes excretados, e como isso pode implicar nos sistemas de tratamento. Os dejetos ainda podem conter quantidades consideráveis de monensina, o que pode causar instabilidade durante a digestão anaeróbia. A separação de frações sólido-líquido pode ser uma alternativa para reduzir a concentração de monensina e fibras no substrato. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência da monensina na caracterização dos dejetos de bovinos e sobre a digestão anaeróbia, promovendo-se ou não a separação de frações em dois tempos de retenção hidráulica (TRH). Os dejetos foram coletados de novilhos da raça Jersey alimentados com doses de 0, 1,8; 3,6; 5,4 e 7,2 mg de monensina kg⁻¹ de MSI (matéria seca ingerida). Os TRH foram de 20 e 30 dias (TRH20 e TRH30) e as concentrações iniciais de ST nos afluentes de 2,5%. Os resultados foram avaliados de forma independente para os TRH testados. A inclusão de monensina na dieta influenciou as massas de sólidos totais (ST) e voláteis (SV), fibra em detergente neutro (FDN) e lignina excretadas. Com o aumento da inclusão de monensina nas dietas houve redução nas massas de ST de dejetos produzidas, partindo de 4,76 kg/animal/dia para o grupo controle até 4,05 kg/animal/dia para a inclusão máxima de monensina (7,2 mg). As massas de SV e FDN em dejetos acompanharam o comportamento de ST. No entanto, devido ao acréscimo da concentração de lignina nos dejetos de acordo com a inclusão de monensina nas dietas (4,68 e 11,36% dos ST em lignina para os tratamentos controle e com 7,2 mg de monensina), foi observado aumento das massas de lignina excretadas. O consumo não foi afetado pela adição de monensina às dietas, resultando em média de 10,71 kg de MS/animal/dia. A separação de frações colaborou positivamente para as reduções de ST, SV e FDN durante a biodigestão anaeróbia dos substratos, resultando também em maiores potenciais de produção de biogás e metano, além de maiores proporções de metano no biogás, em relação aos substratos digeridos sem separação. Porém, a inclusão de monensina nas dietas resultou em menores reduções dos constituintes sólidos e fibrosos, assim como menores produções de biogás e metano, independente do TRH adotado e da condição de peneiramento. O TRH20 foi menos eficiente em relação ao TRH30 para as degradações de sólidos e produções de biogás. Assim, para maior eficiência da digestão anaeróbia dos dejetos de bovinos alimentados com monensina, recomenda-se a adoção de TRH de 30 dias e com o peneiramento dos substratos.

Palavras-chave: ionóforo, separação sólido-líquido, tempo de retenção hidráulica

7- INTRODUÇÃO

Em todo sistema produtivo a busca pela maximização da produção é uma meta a ser alcançada e, no caso da bovinocultura, é comum o uso de aditivos como promotores de crescimento para auxiliar no ganho produtivo do animal, sendo a monensina um dos mais utilizados (Bragotto e Silva, 2020). A monensina é um ionóforo poliéster produzido a partir da bactéria *Streptomyces cinnamonensis*, com função antimetanogênica, além de ser um coccidiostático. Este ionóforo reduz as perdas energéticas por modular a microbiota ruminal e inibir os precursores da metanogênese, diminuindo a produção de metano, o que acarreta mais energia para a produção (Appuhamy et al., 2013).

Somente no Brasil, o uso de antibióticos na dieta animal foi estimado em 5.683 toneladas em 2010, com projeção de aumento para 8.447 toneladas até 2030 (Van Boeckel et al., 2015). Questões ambientais vêm sendo mais discutidas acerca da contaminação pela eliminação dos antibióticos no meio. Uma das principais fontes de contaminação se dá a partir da produção animal (Mooney et al., 2020), pois uma considerável parcela dos antibióticos administrados aos animais é excretada através das fezes, podendo alcançar até 90% do fornecido (Sarmah et al., 2006).

O Brasil possui o segundo maior rebanho de bovinos o mundo com 202 milhões de cabeças (ABIEC, 2023), gerando milhares de quilos de dejetos todos os dias, assim, o tratamento dos dejetos gerados assume condição de extrema importância, sobretudo no intuito de se reduzir as cargas de poluentes que são dispensadas no meio ambiente.

A digestão anaeróbia é amplamente utilizada como forma de tratamento dos dejetos de bovinos e pode ser uma alternativa para redução das cargas de monensina nos substratos (Arikan et al., 2018). No entanto, resíduos de monensina contidos nos dejetos podem causar distúrbios na digestão, ocasionando decréscimo na produção de metano (Spirito et al., 2018), já que a presença de antibiótico afeta o processo de digestão anaeróbia em todas as fases (Rani et al., 2022). Outro fator que pode influenciar a condução do processo de digestão anaeróbia é a composição dos substratos, sendo que os originados a partir de dejetos com maiores teores de constituintes resistentes à degradação pelos microrganismos podem diminuir sua eficiência. Para animais ruminantes, os componentes de parede celular como lignina, celulose e hemicelulose, ganham atenção especial, pois representam uma considerável parcela dos dejetos, assim como podem

sofrer alterações nas suas concentrações em função do uso de monensina nas dietas (Wang et al., 2022), pois a monensina pode exercer ação sobre os principais microrganismos degradadores de fibras no ambiente ruminal (Witzig et al., 2018). Dessa forma, a pesquisa sobre técnicas que promovam maior facilidade de degradação dos substratos contendo monensina e maior concentração de constituintes fibrosos se tornam necessárias, pois permitirão menor comprometimento da digestão, com melhores rendimentos de biogás e metano, assim como qualidade do fertilizante.

Em substratos a serem utilizados para a degradação anaeróbia, a separação de frações pode reduzir a concentração de antibióticos em ambas as frações (sólida e líquida), como observado por Hurst et al. (2018) ao reportarem que as maiores concentrações de monensina permaneceram na fração sólida. No entanto, essa eficiência de concentrar monensina em uma das frações pode ser dependente do princípio do antibiótico, pois Marti et al. (2020) quantificaram que 64% de fármacos veterinários permanecem mais concentrados na fração líquida, após a separação.

Usualmente, nas unidades produtoras de bovinos, a separação dos dejetos tem como principal objetivo a melhoria de desenvolvimento dos processos de reciclagem, permitindo que sejam mais eficientes e realizados em menor tempo, quando comparados aos conduzidos com os dejetos íntegros. Com a separação de frações, a parte sólida pode ser direcionada a compostagem, melhorando a concentração dos nutrientes no fertilizante produzido, além de facilitar o armazenamento e transporte do composto, além da redução de emissão de gases de efeito estufa para o ambiente, o que irá colaborar para uma agricultura mais sustentável (Grell et al., 2023). Em relação a digestão anaeróbia, onde a fração líquida será destinada, destaca-se a diminuição dos constituintes fibrosos e com partículas mais grosseiras, permitindo que os substratos demandem menor tempo de retenção hidráulica, além melhores rendimentos de biogás e metano por quantidade de efluente tratado (Hafner et al., 2017).

Dessa forma, esta pesquisa foi baseada nas seguintes hipóteses: 1) A inclusão de monensina nas dietas reduz a ingestão de alimento, as quantidades de resíduos produzidos e altera a sua composição, 2) a separação de frações dos substratos será eficiente para promover maiores reduções de constituintes sólidos e maiores rendimentos, composição e qualidade do biogás. Assim, o objetivo da pesquisa foi avaliar a influência da inclusão de monensina na alimentação de bovinos sobre as características dos dejetos e o efeito da separação de frações nos substratos durante a digestão anaeróbia.

8- MATERIAL E MÉTODOS

8.1- Local do experimento e animais

A etapa de alimentação e coleta dos resíduos gerados pelos bovinos foi conduzida na Fazenda Experimental, e as análises laboratoriais realizadas no Laboratório de Manejo de Resíduos Agropecuários, ambos pertencentes a Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS, Brasil (latitude 22°11'38''S, longitude 54°55'49''W e 462 m acima do nível do mar). O experimento com os animais foi aprovado para condução de acordo com as diretrizes do Comitê de Ética no Uso Animal, protocolo 16/2021 aprovado em 30/11/2021.

Os animais utilizados foram da raça Jersey e permaneceram alojados em baias individuais, cobertas e com piso de concreto, equipadas com bebedouro automático e comedouro individuais. No total foram utilizados cinco novilhos com peso médio de 350 kg. Primeiramente os animais foram adaptados a dieta contendo 50% de feno de aveia e 50% de concentrado (a base de milho moído, farelo de soja, ureia e premix mineral e vitamínico) durante duas semanas, a caracterização dos alimentos se encontram na Tabela 1. A partir desse período de adaptação iniciou-se a fase experimental, adotando-se como base a matéria seca ingerida (MSI) de 2,5% do peso corporal (PC), garantindo-se que fossem permitidas sobras de no mínimo 10% em relação ao ofertado. As dietas foram ofertadas duas vezes ao dia, às 07h00 e às 15h00, sendo as sobras retiradas dos cochos antes da primeira oferta de alimento no dia.

Tabela 1: Caracterização do feno de aveia e do concentrado utilizados na alimentação dos bovinos.

Alimentos	MS (%)	PB (%)	FDN (%)	FDA (%)	EE (%)	MM (%)	CNF%
Feno	91,77	6,38	75,23	45,56	1,25	9,89	7,25
Ração	91,60	20,83	9,85	4,16	6,81	9,12	53,39

MS: matéria seca; PB: proteína bruta; FDN: fibra em detergente neutro; FDA: fibra em detergente ácido; EE: extrato etéreo; MM: matéria mineral; CNF: carboidratos não fibrosos.

8.2 - Coleta de dejetos

As inclusões de monensina caracterizaram os tratamentos experimentais e consistiram em cinco níveis: 0; 1,8; 3,6; 5,4 e 7,2 mg kg⁻¹ de MSI. As doses foram ofertadas para os cinco animais ao mesmo tempo, utilizando-se o período de sete dias para a oferta de cada dieta, sendo os quatro primeiros para adaptação e os três últimos para a coleta dos resíduos. Desta forma, o período experimental completo foi de cinco semanas e a ordem de oferta dos tratamentos foi a partir do controle até a maior dose de inclusão. Adotou-se delineamento inteiramente casualizado, sendo cada animal uma unidade experimental.

A dose de monensina foi ofertada diariamente antes da primeira refeição do dia, sendo que com uma pequena porção do alimento concentrado (± 100 g do concentrado) era realizada uma mistura com a respectiva inclusão de monensina e colocada no cocho do animal, sendo rapidamente consumida e garantindo assim a ingestão total de cada dose.

A coleta de dejetos foi realizada por meio da raspagem do piso, sem a adição de água e considerando-se a quantidade acumulada dentro de 24h. Após a coleta, os dejetos foram quantificados, obtendo-se a massa fresca, e então encaminhados ao laboratório para análise de sólidos totais (ST) e pH. Após secas, as amostras foram moídas e utilizadas para as determinações de sólidos voláteis (SV), fibras em detergente neutro e ácido (FDN, FDA e lignina) e carbono, além dos teores de nitrogênio. A massa restante dos dejetos foi congelada em freezer horizontal para utilização no ensaio de digestão anaeróbia.

8.3- Ensaio de digestão anaeróbia

Foram utilizados biodigestores semi-contínuos com 8 litros de capacidade total (Figura 1), com cinco tratamentos (dejetos com doses de monensina), três repetições (biodigestores). Também foi empregada a técnica de separação de fração por peneiramento, obtendo substratos peneirados (COM) e íntegros (SEM). Dois tempos de retenção hidráulica de 20 e 30 dias (TRH20 e TRH30) foram adotados.

A concentração de ST nos afluentes foi fixada em 2,5% para substratos SEM, ou seja, contendo os dejetos íntegros, já para os substratos COM, a concentração de ST foi inferior a essa, já que a fração mais grosseira ficou retida na peneira. Os biodigestores

foram abastecidos diariamente, sendo o volume de carga dependente da capacidade de cada digestor e tempo de retenção adotado. Foi utilizado um liquidificador industrial para homogeneização dos afluentes, sendo que para a condição peneirada, a separação de frações foi realizada manualmente, com o auxílio de uma peneira de malha igual a 1mm e eficiência média de retenção da fração sólida de 40% (Figura 2 e 3). Após a separação, somente a fração líquida foi utilizada nos biodigestores, sendo a sólida reservada para ser direcionada a compostagem. A caracterização dos dejetos e substratos utilizados para a digestão anaeróbia são apresentados na Tabela 2.



Figura 1: Bateria de biodigestores semi-contínuos, em escala experimental.

Os biodigestores foram acoplados a gasômetros compostos por dois canos cilíndricos de PVC, um utilizado como selo d'água e o outro como gasômetro, onde o biogás produzido ficava armazenado. A produção de biogás foi mensurada pelo deslocamento vertical dos gasômetros e o volume produzido calculado a partir da área do gasômetro e da sua altura de deslocamento, corrigidos para condições normais de temperatura e pressão (Kunz et al., 2019). Para a análise das concentrações de CH_4 , CO_2 e O_2 , foi utilizado um analisador de biogás infravermelho Gasboard - 3200L (Cubic Sensor and Instrument Co., Ltd). O biogás foi analisado duas vezes por semana, sendo essa mesma frequência adotada para as mensurações de sólidos totais (ST) nos afluentes e efluentes.



Figura 2: Peneiramento dos dejetos.



Figura 3: Sólido retido na peneira.

Tabela 2: Caracterização dos dejetos e substratos iniciais utilizados para a digestão anaeróbia.

Material Analisado	ST (%)	SV (%)	FDN (%)	pH
Dejeto controle	23,04	84,64	40,70	8,05
Dejeto dose 1,8 mg	21,74	83,68	41,80	8,38
Dejeto dose 3,6 mg	20,37	83,15	45,16	8,16
Dejeto dose 5,4 mg	21,78	83,14	47,09	8,25
Dejeto dose 7,2 mg	22,85	82,85	47,26	8,26
Substrato controle (SEM)	2,47	85,83	45,50	7,79
Substrato dose 1,8 mg (SEM)	2,47	85,21	45,13	7,79
Substrato dose 3,6 mg (SEM)	2,40	85,41	47,73	7,42
Substrato dose 5,4 mg (SEM)	2,30	85,44	48,31	7,86
Substrato dose 7,2 mg (SEM)	2,37	84,58	50,83	7,85
Substrato controle (COM)	1,44	78,36	28,10	7,68
Substrato dose 1,8 mg (COM)	1,39	78,50	28,12	7,88
Substrato dose 3,6 mg (COM)	1,38	79,12	29,98	7,60
Substrato dose 5,4 mg (COM)	1,41	78,59	32,15	7,92
Substrato dose 7,2 mg (COM)	1,32	77,33	32,70	7,88

ST: sólidos totais; SV: sólidos voláteis; FDN: fibra em detergente neutro; pH: potencial hidrogeniônico.

8.4- Análises laboratoriais

As análises de ST e SV e pH foram realizadas de acordo com a metodologia descrita por APHA (2017). A análise de N (Kjeldahl) foi realizada de acordo com Detmann et al. (2012). As análises de FDN, FDA e lignina foram de acordo com a metodologia descrita por Van Soest et al. (1991).

As reduções de ST e SV foram calculadas considerando-se os teores presentes no início (afluentes) e no final (efluente) do processo e os volumes de carga e descarga realizados. Para estimativa dos potenciais de produção de biogás e metano foi considerada a relação entre as produções volumétricas e as quantidades de ST adicionadas aos biodigestores.

8.5- Análise estatística

A análise do experimento foi fatorial 5x2 (doses de monensina x com ou sem separação), em delineamento inteiramente casualizado com três repetições. Na análise de variância observa-se a interação dos fatores, caso não significativo continuou-se a análise independente dos fatores sendo uma regressão polinomial ($p < 0,05$) para as doses de monensina e o teste Tukey ($p < 0,05$) para com ou sem separação. No caso da interação significativa foi desdobrado os fatores para com ou sem separação dentro de cada nível de doses de monensina e foi realizado o teste comparações de médias (teste Tukey ($p < 0,05$)). Para doses de monensina dentro de com ou sem separação, foi realizado análise de regressão polinomial ($p < 0,05$).

Os resultados foram avaliados de forma independente para os TRH testados. Todas as análises foram realizadas no software R 4.3.2 (2023).

9- RESULTADOS E DISCUSSÃO

9.1- Caracterização dos dejetos

Foi observado efeito da inclusão de monensina sobre as massas de dejetos geradas, sendo que a inclusão do ionóforo na dieta resultou na redução ($p < 0,05$) das massas de ST produzidas pelos bovinos (Figura 4). Apesar da monensina não ter influenciado ($p > 0,05$) as quantidades de alimento ingeridas pelos animais com média de $10,713 \text{ kg dia}^{-1}$, já relatado quando os animais consomem grandes quantidades de forragem (Marcucci et al., 2024), é possível que a monensina tenha efeito de redução da taxa de passagem, conforme relatado por Martinez et al. (2022), que pode ser responsável por aumentar a digestibilidade dos alimentos ofertados e reduzir as massas de dejetos produzidas.

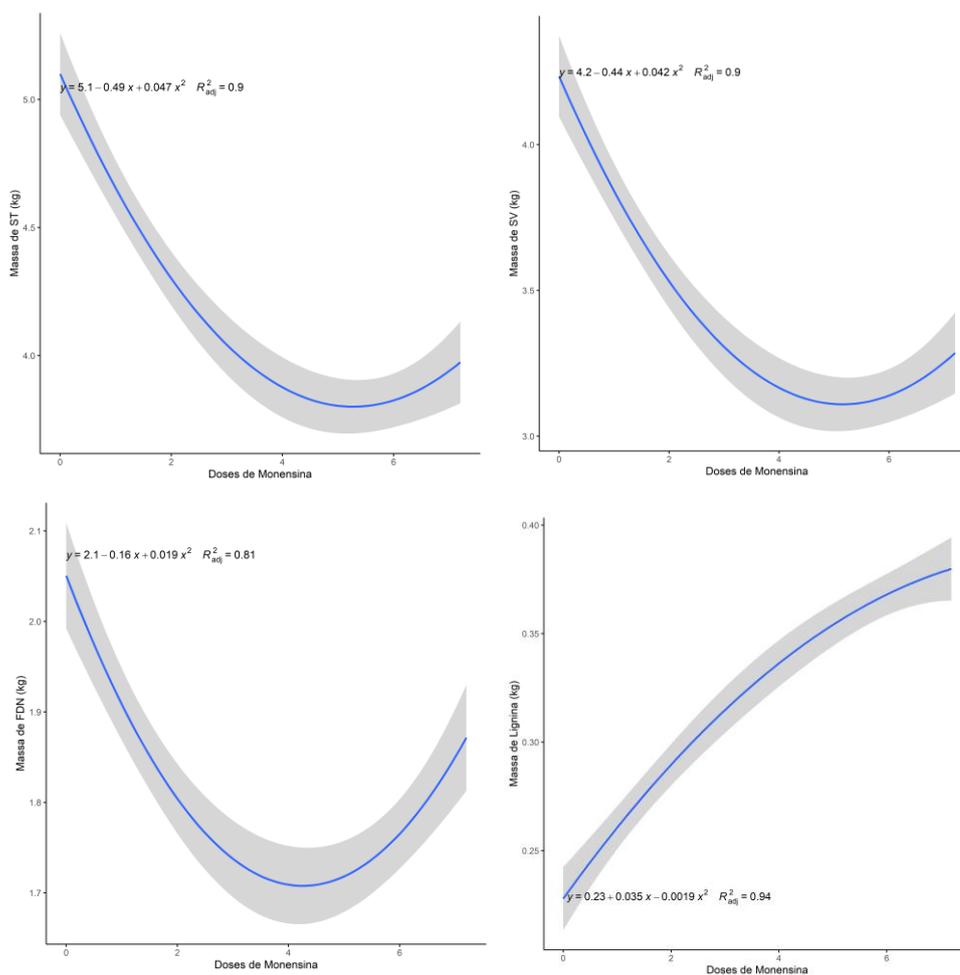


Figura 4: Massas de ST, SV, FDN e lignina (kg) produzidas por bovinos alimentados com crescentes níveis de monensina na dieta.

Esse decréscimo nas massas produzidas é considerável para o manejo e tratamento dos dejetos, pois dessa forma há menores quantidades de dejetos a serem coletados, manipulados e tratados, o que reduz os custos envolvidos no processo de tratamento e reciclagem dos resíduos.

A produção de massas de SV e FDN (Figura 4) acompanharam o comportamento de ST, sendo reduzidas de acordo com a inclusão de monensina nas dietas. No entanto, os teores de FDN nos dejetos sofreram acréscimo ($p < 0,05$) conforme a adição de monensina nas dietas (40,7; 41,8; 45,2; 47,1 e 47,3%, respectivamente para as adições de 0; 1,8; 3,6; 5,4 e 7,2 mg de monensina kg^{-1} MSI). Em estudo conduzido por Tebbe et al. (2018) a inclusão de monensina decresceu a digestibilidade da FDN das dietas de vacas leiteiras, sendo destacado pelos autores que ocorreu modificação da população microbiana, e conseqüente inibição da gama de bactérias celulolíticas. A monensina atua principalmente sobre bactérias gram-positivas, como a *R. albus*, que são responsáveis pela degradação da fibra, no entanto, também pode afetar o crescimento de *F. succinogenes*, o que explica maiores teores e massa de fibra nos dejetos com o uso desse ionóforo (Witzig et al., 2018). Novamente, este fator deve ser considerado para o manejo e tratamento dos resíduos, pois poderá demandar condições de digestão com maior tempo ou intensidade para degradação da fração fibrosa.

Nesse sentido, os teores de lignina também devem ser observados, pois essa fração atua como limitante, ou no mínimo, retarda as degradações que ocorrem nos substratos (Oliveira et al., 2022). No presente estudo, para o intervalo nas doses de monensina testadas, a curva encontrada em sua fase crescente para as massas de lignina (Figura 4) ($p < 0,05$) presentes nos dejetos de acordo com a inclusão de monensina. Esse feito se dá pela concentração de lignina, pois em animais alimentados com a dieta controle as concentrações foram de 4,68% de lignina nos ST, enquanto em animais que receberam as dietas com inclusão máxima, as concentrações alcançaram 11,36% de lignina. Ao caracterizarem os dejetos de bovinos alimentados com monensina na dieta, Wang et al. (2022) também reportaram maior quantidade lignina em dejetos de animais alimentados com monensina em relação aos que não foram alimentados com o ionóforo.

Os resultados obtidos com a caracterização dos resíduos de bovinos alimentados com doses crescentes de monensina apontam para a necessidade de que o manejo dos dejetos seja adequado a essa condição, onde menores massas de resíduos são geradas, o que beneficia o transporte e quantidade de material a ser tratados, no entanto, possui constituição mais resistente a degradação, com maiores concentrações de constituintes fibrosos e lignina.

Para Grell et al. (2023) a separação de frações sólido-líquido para o tratamento de resíduos é uma alternativa viável já que pode proporcionar maior igualdade de digestão para substratos constituídos por resíduos fibrosos, como os dejetos puros de ruminantes ou de origem vegetal, digestatos e efluentes diversos. Os autores indicam essa prática como parte importante para uma agricultura mais sustentável e com menores emissões de gases de efeito estufa para o ambiente, resultando em melhoria dos sistemas de tratamento de resíduos, como a digestão anaeróbia.

9.2- Digestão anaeróbia

Para o TRH de 20 dias, as reduções de ST foram influenciadas ($p < 0,05$) pelo uso da monensina na dieta dos animais, tanto com a separação ou não por peneira (Figura 5), sendo que na maior dose de monensina ofertada ($7,2 \text{ mg kg}^{-1} \text{ MSI}$) ocorreram as menores reduções, (35,80% e 32,06%, para as condições com ou sem separação, respectivamente). No entanto, com a separação por peneira, a redução de ST máxima alcançada foi de 47,44 (dose 3,31), e para os substratos sem separação máxima a redução ocorreu com a dose em $2,29 \text{ mg}$ de monensina $\text{kg}^{-1} \text{ MSI}$ (40,95%). Esse comportamento pode estar associado ao efeito benéfico do peneiramento, que pode ter sido eficiente em reduzir as concentrações de monensina na fração líquida destinada a digestão (Hurst et al., 2018), em comparação com substratos não peneirados. Além disso, com a separação houve retenção da fração fibrosa mais grosseira na peneira, e dessa forma menores teores de FDN (Tabela 2), ou seja, esse processo tornou o substrato mais digestível aos microrganismos presentes no meio, o que pode ser observado também pelas reduções de SV (Figura 6), com redução máxima de 53,11% (COM) e 47,26% (SEM).

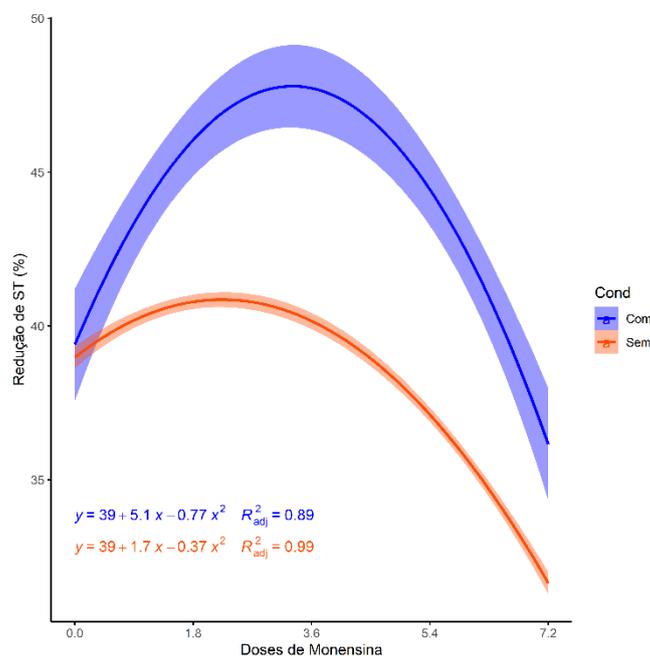


Figura 5: Redução de ST (%) na digestão anaeróbia dos dejetos produzidos por bovinos alimentados com crescentes níveis de monensina na dieta no tempo de retenção hidráulica de 20 dias. Condição: com peneiramento, sem peneiramento.

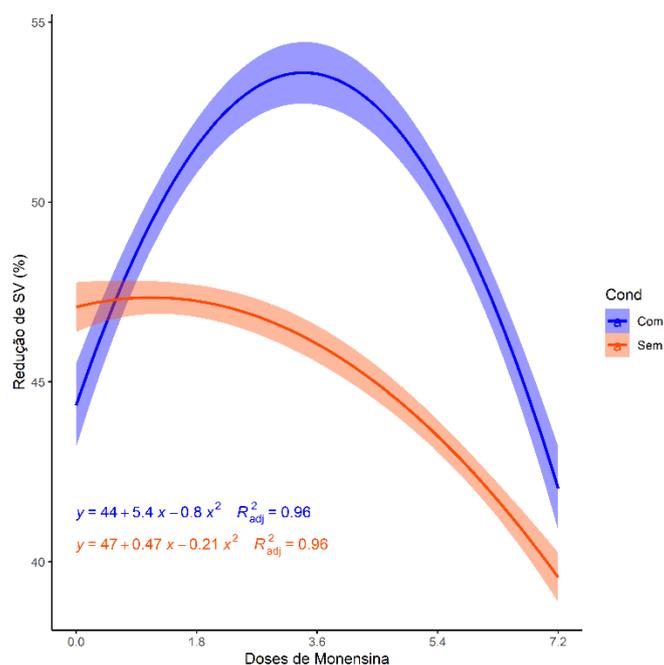


Figura 6: Redução de SV (%) na digestão anaeróbia dos dejetos produzidos por bovinos alimentados com crescentes níveis de monensina na dieta no tempo de retenção hidráulica de 20 dias. Condição: com peneiramento, sem peneiramento.

No TRH de 30 dias, semelhantemente ao de 20 dias verificou-se efeito benéfico pela separação por peneiramento, observada também sobre o comportamento das reduções de sólidos (Figura 7 e 8), sendo as máximas alcançadas de 52,82 e 59,64%, para as reduções de ST e SV, respectivamente. Essas reduções em maiores alcances, possivelmente estão associadas ao maior tempo de permanência dos substratos em digestão, pois em temperatura mesofílica, um mais logo TRH proporciona maior biodegradação e adsorção de antibióticos pelo maior tempo de contato dos microrganismos com antibióticos, sobretudo em virtude da baixa atividade dos microrganismos (Sun et al., 2019). A inclusão de monensina nas dietas dos bovinos também resultou em influência nas reduções de ST e SV alcançadas nos substratos sem separação. Porém, sem separação, essa queda na degradação de ST ocorreu com efeito de linearidade, representando uma influência negativa de forma mais direta, em relação aos substratos peneirados. A máxima redução de ST e SV foi na condição controle para substratos sem a separação (48,62 e 56,00, respectivamente). Contudo a separação não influenciou a redução de ST e SV para a dose 7,2 mg de monensina.

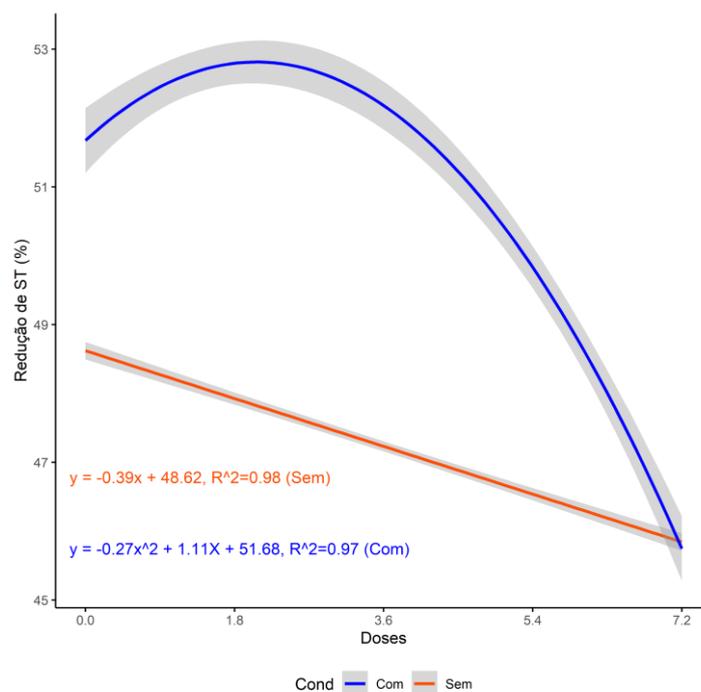


Figura 7: Redução de ST (%) na digestão anaeróbia dos dejetos produzidos por bovinos alimentados com crescentes níveis de monensina na dieta no tempo de retenção hidráulica de 30 dias. Condição: com peneiramento, sem peneiramento.

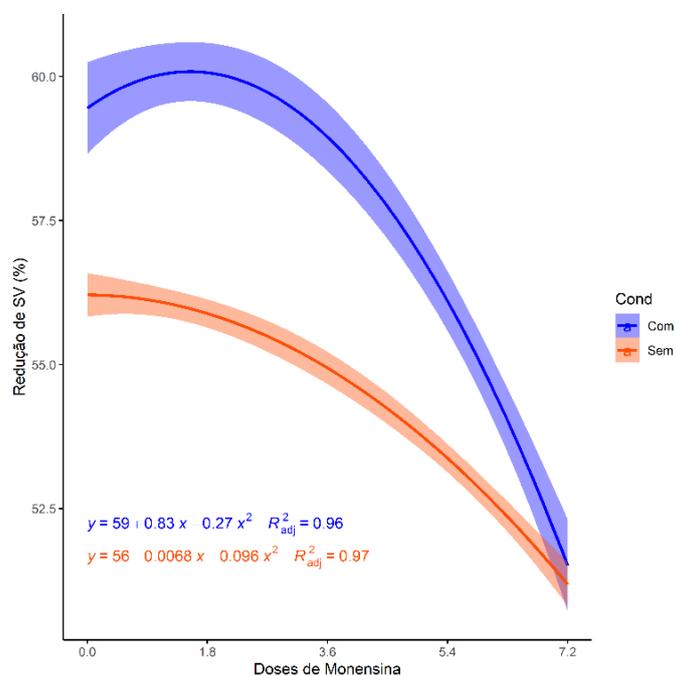


Figura 8: Redução de SV (%) na digestão anaeróbia dos dejetos produzidos por bovinos alimentados com crescentes níveis de monensina na dieta no tempo de retenção hidráulica de 30 dias. Condição: com peneiramento, sem peneiramento.

A presença de antibióticos afeta a degradação de sólidos nos substratos em digestão, pois o primeiro passo para a quebra do material orgânico que serve como fonte de energia para os microrganismos é realizado por bactérias hidrolíticas, que são prejudicadas pela presença destes produtos (Rani et al., 2022). Apesar dessa expectativa de decréscimo das reduções de sólidos para os substratos na presença de antibióticos, as reduções alcançadas na nossa pesquisa superaram as relatadas por Amaral et al. (2004), que foram de 31,41 e 33,17% para os teores de ST e SV, em substratos preparados com os dejetos de bovinos leiteiros e TRH de 30 dias sem o uso de antibiótico. Em nosso estudo, mesmo as maiores doses utilizadas reduziram maiores porcentagens de ST e SV, podendo estar associada a menor porcentagem de sólidos utilizados, fixado em 2,5%, enquanto os autores utilizaram 8% de sólidos totais nos substratos.

A separação de frações e doses de monensina também influenciaram os comportamentos de degradação da FDN dos substratos, assim como das produções de biogás e metano. Para o TRH20 foi observado maior alcances de redução de FDN em substratos que receberam a separação por peneiramento, com máximas reduções de 69,79 e 54,24% (COM e SEM separação, respectivamente) (Figura 9). Como mencionado anteriormente, os dejetos contendo monensina apresentaram maiores teores de lignina, o que, associado a presença de monensina pode ter resultado no decréscimo das degradações da fração fibrosa, assim como das produções de biogás e concentrações de metano e sua composição. Da mesma forma, comportamento semelhante foi em substratos retidos por 30 dias, com ou sem separação (Figura 10). No entanto, nos substratos originados do tratamento controle ocorreram as maiores reduções de FDN, 71,95 e 60,70% (COM e SEM separação, respectivamente).

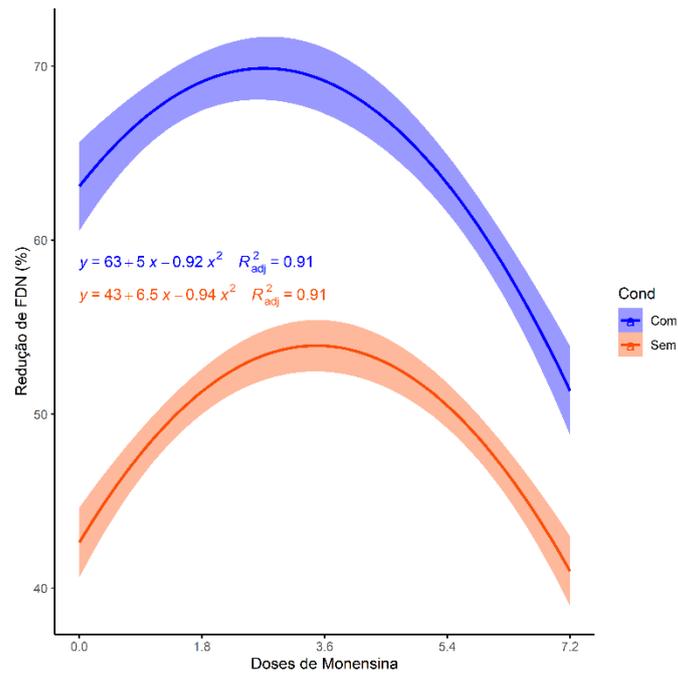


Figura 9: Redução de FDN (%) na digestão anaeróbia dos dejetos produzidos por bovinos alimentados com crescentes níveis de monensina na dieta no tempo de retenção hidráulica de 20 dias. Condição: com peneiramento, sem peneiramento.

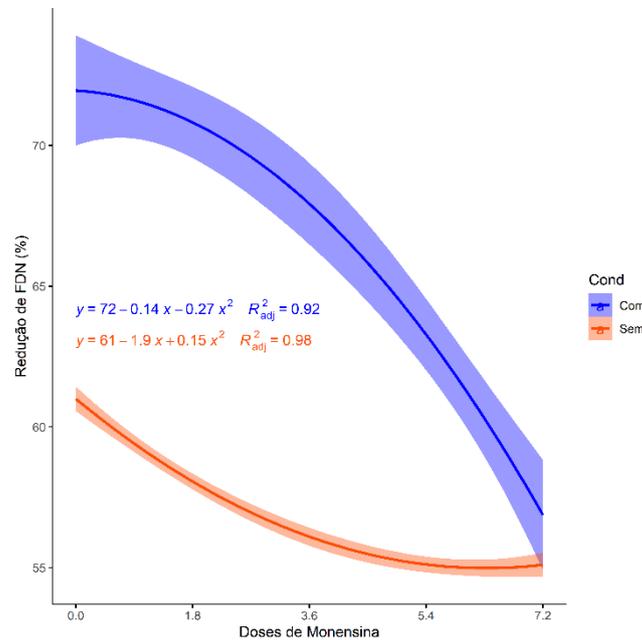


Figura 10: Redução de FDN (%) na digestão anaeróbia dos dejetos produzidos por bovinos alimentados com crescentes níveis de monensina na dieta no tempo de retenção hidráulica de 30 dias. Condição: com peneiramento, sem peneiramento.

A monensina é um forte inibidor da metanogênese entérica em animais de produção, o que resulta em sua influência negativa para as produções de biogás e seu potencial energético, principalmente em curtos tempos de retenção (Mwenya et al., 2006). Esse efeito pode ser observado neste trabalho com os decréscimos nas produções de biogás (Figuras 11 e 14), concentrações de metano (Figura 12 e 15) e produções de metano (Figura 13 e 16), conforme se promoveu a adição de monensina na dieta dos animais.

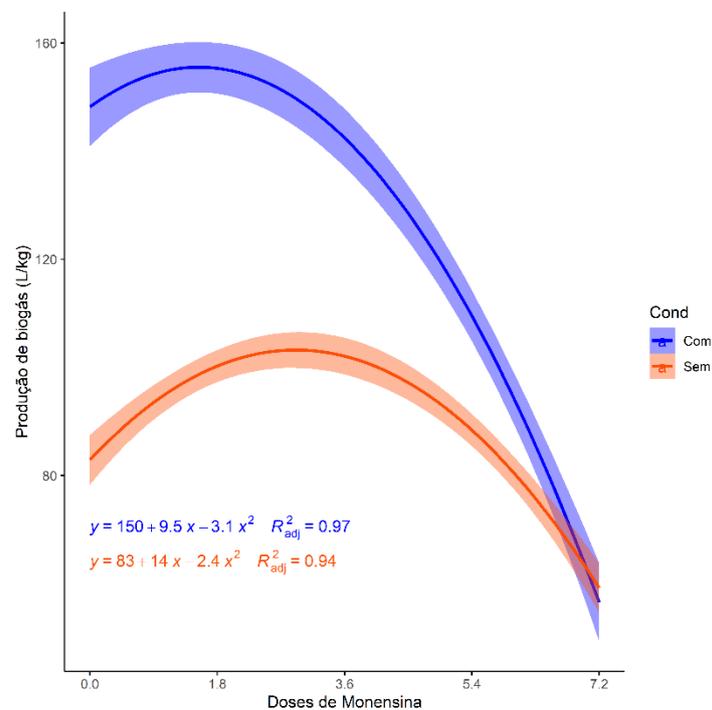


Figura 11: Potencial de produção de biogás (litro/kg ST adicionado) durante a digestão anaeróbia de substratos produzidos a partir de dejetos de bovinos alimentados com crescentes níveis de monensina na dieta no tempo de retenção hidráulica de 20 dias. Condição: com peneiramento, sem peneiramento.

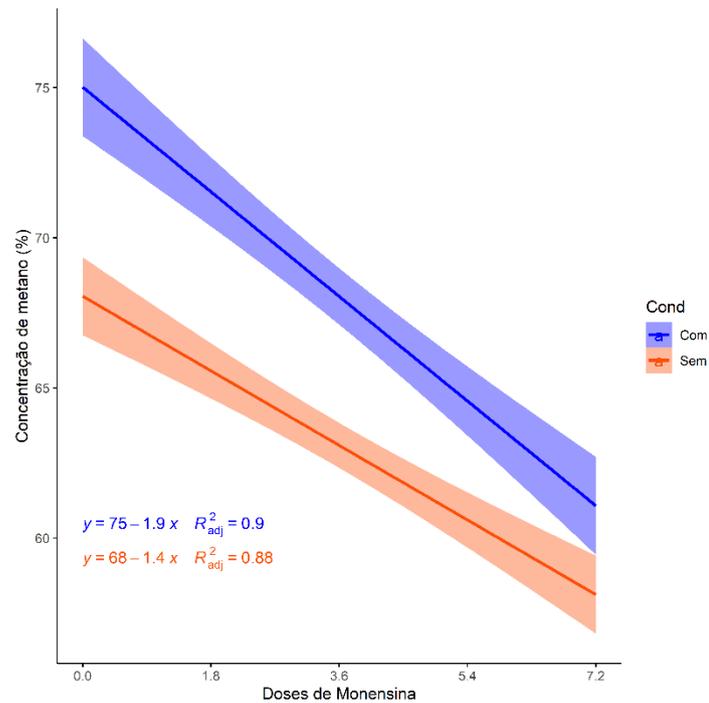


Figura 12: Concentração de metano (%) na digestão anaeróbia dos dejetos produzidos por bovinos alimentados com crescentes níveis de monensina na dieta no tempo de retenção hidráulica de 20 dias. Condição: com peneiramento, sem peneiramento.

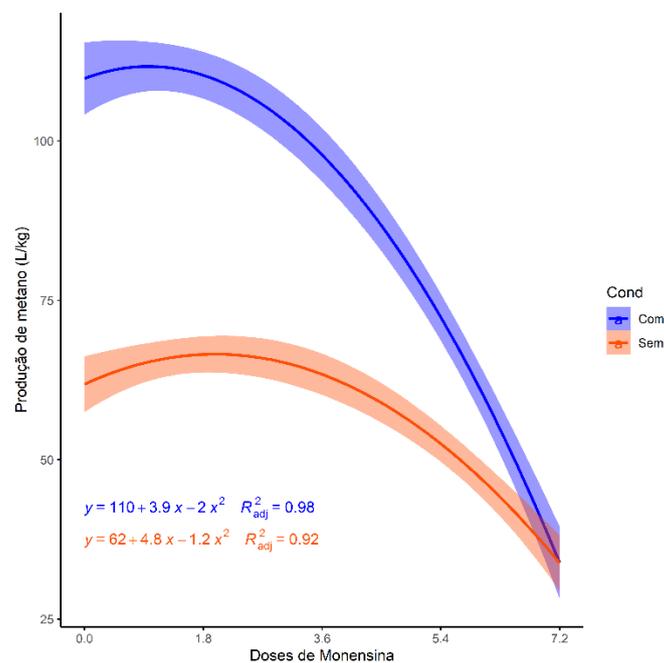


Figura 13: Produção de metano (l/kg de ST adicionados) na digestão anaeróbia dos dejetos produzidos por bovinos alimentados com crescentes níveis de monensina na dieta no tempo de retenção hidráulica de 20 dias. Condição: com peneiramento, sem peneiramento.

Os resultados de potenciais de produção de biogás demonstraram clara influência ($p < 0,05$) da separação de frações para o TRH20 (Figura 11), sendo que o máximo potencial alcançado foi para substratos com a separação por peneiramento de 157,28 litros, sendo os mínimos potenciais com a dose de 7,2 mg. Enquanto nos substratos sem a separação, o máximo potencial alcançado foi de 103,42 litros e mínimo potencial de produção com também com a dose máxima de monensina nos substratos. No TRH de 30 dias a separação de frações também resultou em maiores potenciais de produção de biogás (Figura 14), promovendo rendimento máximo de 199,83 litros e mínimo com a dose 7,2 mg (142,91 litros). Nos dejetos sem separação a máxima produção foi de 151,29 litros e mínima também com a dose 7,2 mg (118,26 litros).

No TRH20, assim como nos demais parâmetros analisados, a separação também melhorou as concentrações de metano (Figura 12), com maior concentração de 75%, e sem separação, a maior concentração foi de 68%, ambos no tratamento controle. No entanto, para o TRH de 30 dias, as concentrações de metano (Figura 15) não diferiram entre as condições de separação de frações, somente entre as doses de monensina, com maior percentual médio de 73,2% na condição controle e 68,18% com a dose 7,2 mg. Podemos inferir que o maior tempo fornecido foi benéfico a uma possível adaptação das bactérias, como já relatado anteriormente, sendo benéfico para a degradação dos antibióticos no interior dos biodigestores (Sun et al., 2019). As produções de metano sofreram influência da separação de frações no TRH20 (Figura 13) com máximas produções alcançadas de 111,90 e 66,80 litros, com e sem separação, respectivamente. Para as produções de metano no TRH30 (Figura 16) estes também sofreram influência da separação de frações e das doses de monensina ($p < 0,05$), com resultados positivos em relação a separação, com produção máxima no tratamento controle (149,16 litros) e decréscimo na produção conforme aumento nas doses de monensina (96,66 litros, 7,2 mg). O mesmo ocorreu sem a separação, porém o máximo produzido na dose de 1,71 mg de monensina de 102,22 litros e mínima produção também com a maior dose (79,32 litros).

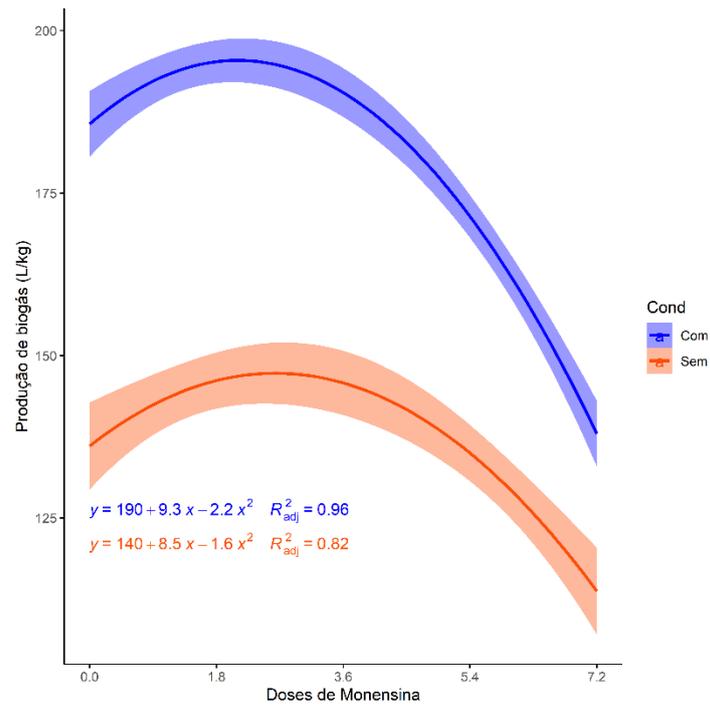


Figura 14: Potencial de produção de biogás (litro/kg ST adicionado) durante a digestão anaeróbia de substratos produzidos a partir de dejetos de bovinos alimentados com crescentes níveis de monensina na dieta no tempo de retenção hidráulica de 30 dias. Condição: com peneiramento, sem peneiramento.

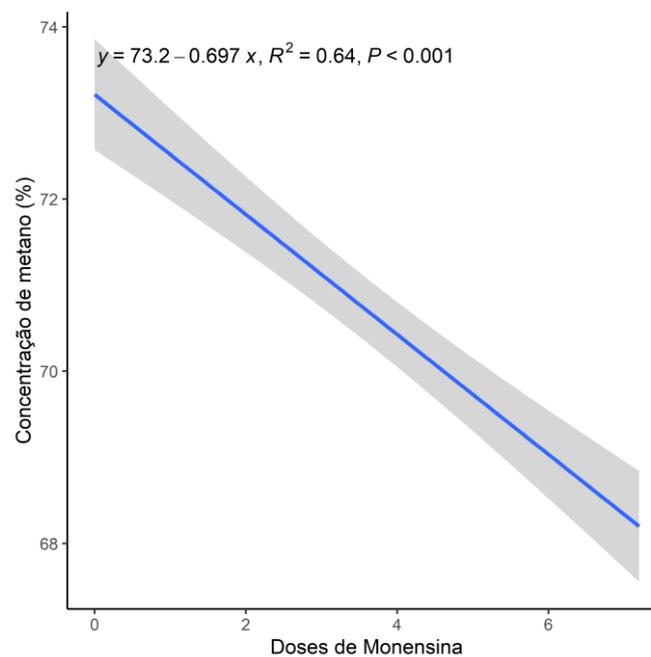


Figura 15: Concentração de metano (l/kg de ST adicionados) na digestão anaeróbia dos dejetos produzidos por bovinos alimentados com crescentes níveis de monensina na dieta no tempo de retenção hidráulica de 30 dias Condição: com peneiramento, sem peneiramento.

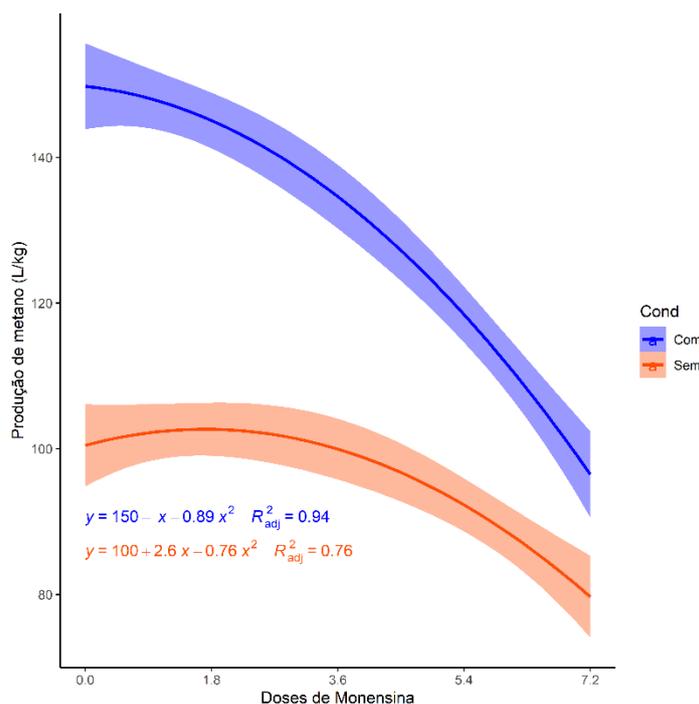


Figura 16: Potencial de produção de metano (l/kg de ST adicionados) na digestão anaeróbia dos dejetos produzidos por bovinos alimentados com crescentes níveis de monensina na dieta no tempo de retenção hidráulica de 30 dias. Condição: com peneiramento, sem peneiramento.

Com a seleção de bactérias gram-positivas com uso de monensina na dieta, há menores porcentagens de emissão de metano entérico em bovinos. No entanto, essa emissão é dose-dependente como observado nas meta-análises realizadas por Marumo et al. (2023) e Appuhamy et al. (2013). O mesmo pode ocorrer na digestão anaeróbia dos dejetos de bovinos, pois dependendo da quantidade de antibiótico dentro dos biodigestores, pode ou não ocorrer distúrbios e diminuição da produção de metano.

O observado por Arikan et al. (2018), ao avaliarem biodigestores que continham 10 mg de monensina l^{-1} de substrato, as produções específicas de metano decresceram 75% e com 1 mg de monensina l^{-1} , as reduções foram de 12%. No entanto, as concentrações de metano (média de 66% de CH_4) não diferiram entre substratos contendo 1 mg de monensina e substratos preparados com dejetos de animais alimentados sem o ionóforo, enquanto para substratos contendo 10 mg de monensina a concentração de metano no biogás alcançou apenas 47%. Nesse estudo, foi relatado pelos autores que a maior concentração de monensina causou instabilidade nos biodigestores, porém não foi avaliado o limite de concentração de monensina a partir do qual a instabilidade se iniciou.

Por outro lado, Spirito et al. (2018) encontraram decréscimos nas produções de metano com apenas $0,2 \text{ mg l}^{-1}$ de monensina na digestão de dejetos de bovinos leiteiros, e maior instabilidade no microbioma quando a concentração aumentou para 5 mg l^{-1} de monensina. Porém os autores observaram uma adaptação à monensina quando as quantidades foram elevadas de forma gradual.

Com os resultados obtidos neste trabalho, fica pronunciado o efeito benéfico da separação de frações sobre a melhoria da eficiência da digestão anaeróbia. A separação de frações vem sendo estudada por emitir menores quantidade de gases de efeito estufa ao ambiente quando o biofertilizante é aplicado ao solo ou no armazenamento do dejetos (Aguirre-Villegas et al., 2019). Porém pouco é relatado na literatura sobre os efeitos positivos da separação da fração sólida antes do processo digestão anaeróbia e sua influência na eficiência da degradação dos substratos. Como no Brasil é amplo, o uso de antibióticos moduladores ruminais na produção de bovinos, se torna comum a presença destes antibióticos na constituição dos dejetos e afluentes. Dessa forma, com a separação das frações, é possível promover a redução das concentrações de antibióticos nas fezes que serão destinadas ao biodigestor, e será possível se direcionar a fração sólida ao processo de compostagem, onde as intensidades de degradação pelos microrganismos serão mais intensas e poderão promover maior eficiência de redução da monensina, mesmo que em concentrações mais elevadas (Hafner et al. 2020; Hurst et al. 2018).

Outro benefício para a digestão anaeróbia com a separação é a diminuição da quantidade de fibras e partículas grosseiras (Hafner et al., 2020), o que pode reduzir o TRH e o volume dos biodigestores no campo, permitindo assim maior viabilidade econômica dos sistemas de tratamento dos dejetos. Apesar da redução da quantidade de dejetos gerados com o uso da monensina, estes necessitam de um tempo maior para degradação, pois foram encontrados maiores teores de lignina nos dejetos conforme o aumento nos níveis de monensina neste trabalho, o que torna o substrato mais resistente à degradação.

10- CONCLUSÃO

A inclusão de monensina não reduziu a ingestão de alimentos pelos animais, no entanto, reduziu quantidade de dejetos produzidos, mas com maior concentração de constituintes fibrosos.

A separação de frações foi benéfica ao processo de digestão anaeróbia, podendo ser utilizada em ambos TRH, de 20 e 30 dias.

As maiores doses de monensina nas dietas dos bovinos prejudicaram o processo de digestão anaeróbia dos dejetos, mesmo com a separação de frações nos dejetos.

11- REFERÊNCIAS

ABIEC. Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne – Beef Report – Perfil da Pecuária no Brasil. Anuário. 2023.

APHA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd ed. Washington DC: American Public Health Association. 2017.

AGUIRRE-VILLEGAS, H. A.; LARSON, R. A.; SHARARA, M. A. Anaerobic digestion, solid-liquid separation, and drying of dairy manure: Measuring constituents and modeling emission. *Science of the Total Environment*, vol. 696, p. 134059, 2019. DOI 10.1016/j.scitotenv.2019.134059. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134059>.

AMARAL, C. M. C. do; AMARAL, L. A. do; LUCAS JÚNIOR, J. de; NASCIMENTO, A. A. do; FERREIRA, D. de S.; MACHADO, M. R. F. Biodigestão anaeróbia de dejetos de bovinos leiteiros submetidos a diferentes tempos de retenção hidráulica. *Ciência Rural*, vol. 34, no. 6, p. 1897–1902, 2004. <https://doi.org/10.1590/s0103-84782004000600035>.

APPUHAMY, J. A. D. R. N.; STRATHE, A. B.; JAYASUNDARA, S.; WAGNER-RIDDLE, C.; DIJKSTRA, J.; FRANCE, J.; KEBREAB, E. Anti-methanogenic effects of monensin in dairy and beef cattle: A meta-analysis. *Journal of Dairy Science*, vol. 96, no. 8, p. 5161–5173, 2013. DOI 10.3168/jds.2012-5923. Available at: <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2012-5923>.

ARIKAN, O. A.; MULBRY, W.; RICE, C.; LANSING, S. The fate and effect of monensin during anaerobic digestion of dairy manure under mesophilic conditions. *PLoS ONE*, vol. 13, no. 2, p. 1–12, 2018. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0192080>.

BRAGOTTO, A. P. A.; SILVA, F. R. N. Ionóforos Poliéteres Na Cadeia Produtiva De Leite E Derivados: Uma Revisão. p. 267–288, 2020. <https://doi.org/10.37885/201001756>.

DETMANN, E; SOUZA, M. A; VALADARES FILHO, S. C.; QUEIROZ, A. C.; BERCHIELLI, T. T.; SALIBA, E. O. S.; CABRAL, L. S.; PINA, D. S.; LADEIRA, M.

M.; AZEVEDO, J. A. G. Métodos para análises de alimentos – INCT – Ciência Animal. Visconde do Rio Branco: Suprema, 214p. 2012.

GRELL, T.; MARCHUK, S.; WILLIAMS, I.; MCCABE, B. K.; TAIT, S. Resource recovery for environmental management of dilute livestock manure using a solid-liquid separation approach. *Journal of Environmental Management*, vol. 325, no. PA, p. 116254, 2023. DOI 10.1016/j.jenvman.2022.116254. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116254>.

HAFNER, S. C.; WATANABE, N.; HARTER, T.; BERGAMASCHI, B. A.; PARIKH, S. J. Effects of solid-liquid separation and storage on monensin attenuation in dairy waste management systems. *Journal of Environmental Management*, vol. 190, p. 28–34, 2017. DOI 10.1016/j.jenvman.2016.12.024. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.12.024>.

HURST, J. J.; WALLACE, J. S.; AGA, D. S. Method development for the analysis of ionophore antimicrobials in dairy manure to assess removal within a membrane-based treatment system. *Chemosphere*, vol. 197, p. 271–279, 2018. DOI 10.1016/j.chemosphere.2018.01.028. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.01.028>.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – Pesquisa da Pecuária Municipal. 2022. Acesso em: 25/01/24. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9107-producao-dapecuariamunicipal.html?utm_source=landing&utm_medium=explica&utm_campaign=producao_agropecuaria

KUNZ, A. et al. Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato. Concórdia: Sbera: Embrapa Suínos e Aves, 2019. 209p.

MARCUCCI, M. T.; TOMA, H. S.; SANTOS, MARCELO DINIZ DOS; ROMERO, JAKELINE VIEIRA; MONTEIRO TOMA, C. D.; CARVALHO, A. de M.; CAMARGO, L. M. de. Efeito do aditivo monensina sódica no metabolismo ruminal de bovinos de corte. *Revista científica de medicina veterinária*, 2014.

MARTI, E.; GROS, M.; BOY-ROURA, M.; OVEJERO, J.; BUSQUETS, A. M.; COLÓN, J.; PETROVIC, M.; PONSÁ, S. Pharmaceuticals removal in an on-farm pig slurry treatment plant based on solid-liquid separation and nitrification-denitrification systems. *Waste Management*, vol. 102, p. 412–419, 2020. DOI 10.1016/j.wasman.2019.11.001. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.11.001>.

MARTINEZ, J. J.; LÖEST, C. A.; MCCUISTION, K. C.; WESTER, D. B.; BELL, N. L. Effects of monensin and protein supplementation on intake, digestion, and ruminal fermentation in beef cattle consuming low-quality forage. *Applied Animal Science*, vol. 38, no. 1, p. 13–21, 2022. DOI 10.15232/aas.2021-02219. Available at: <https://doi.org/10.15232/aas.2021-02219>.

MARUMO, J. L.; LAPIERRE, P. A.; VAN AMBURGH, M. E. Enteric Methane Emissions Prediction in Dairy Cattle and Effects of Monensin on Methane Emissions: A Meta-Analysis. *Animals*, vol. 13, no. 8, 2023. <https://doi.org/10.3390/ani13081392>.

MOONEY, D.; RICHARDS, K. G.; DANAHER, M.; GRANT, J.; GILL, L.; MELLANDER, P. E.; COXON, C. E. An investigation of anticoccidial veterinary drugs

as emerging organic contaminants in groundwater. *Science of the Total Environment*, vol. 746, p. 141116, 2020. DOI 10.1016/j.scitotenv.2020.141116. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141116>.

MWENYA, B.; SAR, C.; PEN, B.; MORIKAWA, R.; TAKAURA, K.; KOGAWA, S.; KIMURA, K.; UMETSU, K.; TAKAHASHI, J. Effect of feed additives on ruminal methanogenesis and anaerobic fermentation of manure in cows and steers. *International Congress Series*, vol. 1293, p. 209–212, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.ics.2006.03.027>.

OLIVEIRA, J. D. de; ORRICO, A. C. A.; LEITE, B. K. V.; SCHWINGEL, A. W.; ORRICO JUNIOR, M. A. P.; AVILA, M. R. de; MACHADO, J. F.; DIAS, A. M. D. F.; MACENA, I. A.; SANTOS, W. dos. Anaerobic co-digestion of swine manure and forage at two harvesting ages. *Ciência Rural*, vol. 52, no. 4, 2022. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20200760>.

R CORE TEAM: A Language and Environment for Statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2023. <<https://www.R-project.org/>>

RANI, J.; PANDEY, K. P.; KUSHWAHA, J.; PRIYADARSINI, M.; DHOBLE, A. S. Antibiotics in anaerobic digestion: Investigative studies on digester performance and microbial diversity. *Bioresource Technology*, vol. 361, no. June, p. 127662, 2022. DOI 10.1016/j.biortech.2022.127662. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.127662>.

SARMAH, A. K.; MEYER, M. T.; BOXALL, A. B. A. A global perspective on the use, sales, exposure pathways, occurrence, fate and effects of veterinary antibiotics (VAs) in the environment. *Chemosphere*, vol. 65, no. 5, p. 725–759, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2006.03.026>.

SPIRITO, C. M.; DALY, S. E.; WERNER, J. J.; ANGENENT, L. T. Redundancy in anaerobic digestion microbiomes during disturbances by the antibiotic monensin. *Applied and Environmental Microbiology*, vol. 84, no. 9, p. 1–18, 2018. <https://doi.org/10.1128/AEM.02692-17>.

SUN, C.; LI, W.; CHEN, Z.; QIN, W.; WEN, X. Responses of antibiotics, antibiotic resistance genes, and mobile genetic elements in sewage sludge to thermal hydrolysis pre-treatment and various anaerobic digestion conditions. *Environment International*, vol. 133, no. July, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105156>.

TEBBE, A. W.; WYATT, D. J.; WEISS, W. P. Effects of magnesium source and monensin on nutrient digestibility and mineral balance in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, vol. 101, no. 2, p. 1152–1163, 2018. DOI 10.3168/jds.2017-13782. Available at: <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2017-13782>.

VAN BOECKEL, T. P.; BROWER, C.; GILBERT, M.; GRENFELL, B. T.; LEVIN, S. A.; ROBINSON, T. P.; TEILLANT, A.; LAXMINARAYAN, R. Global trends in antimicrobial use in food animals. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 112, no. 18, p. 5649–5654, 2015. <https://doi.org/10.1073/pnas.1503141112>.

VAN SOEST, P. J.; ROBERTSON, J. B.; LEWIS, B. A. Methods for Dietary Fiber, Neutral Detergent Fiber, and Nonstarch Polysaccharides in Relation to Animal Nutrition. *Journal of Dairy Science*, vol. 74, no. 10, p. 3583–3597, 1991. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2).

WANG, F.; FANG, Y.; WANG, L.; XIANG, H.; CHEN, G.; CHANG, X.; LIU, D.; HE, X.; ZHONG, R. Effects of residual monensin in livestock manure on nitrogen transformation and microbial community during “crop straw feeding-substrate fermentation-mushroom cultivation” recycling system. *Waste Management*, vol. 149, no. June, p. 333–344, 2022. DOI 10.1016/j.wasman.2022.06.015. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2022.06.015>.

WITZIG, M.; ZEDER, M.; RODEHUTSCORD, M. Effect of the ionophore monensin and tannin extracts supplemented to grass silage on populations of ruminal cellulolytics and methanogens in vitro. *Anaerobe*, vol. 50, p. 44–54, 2018. DOI 10.1016/j.anaerobe.2018.01.012. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.anaerobe.2018.01.012>.

12- CAPÍTULO 3

**Compostagem como alternativa para o tratamento dos dejetos de
bovinos alimentados com inclusões de monensina na dieta**

13- RESUMO

A utilização de ionóforo como modulador ruminal é comum na bovinocultura para redução de perdas energéticas através da metanogênese. Porém, esses produtos são excretados junto ao dejetos animal. Logo, há necessidade de tratamento para redução das cargas desses antibióticos antes da aplicação no solo, como a compostagem. O objetivo deste trabalho foi realizar a compostagem dos dejetos de bovinos alimentados com inclusões de monensina e separação de frações sólido-líquido. Os dejetos foram coletados de novilhos da raça Jersey alimentados com doses de 0; 1,8; 3,6; 5,4 e 7,2 mg de monensina por kg^{-1} MSI (matéria seca ingerida). Foi adotado DIC com esquema fatorial 5x9 (doses de monensina x tempos de avaliação da compostagem), com três repetições, sendo os tempos 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 70 e 90 dias. Os resultados foram avaliados de forma independente para a condição peneirado (P) ou não peneirado (NP). Foi utilizada a técnica do saco enterrado, pesando-se cerca de 80g de dejetos em cada saco (20x10cm) de nylon, incubados no interior de uma leira com capacidade de campo de 1000 kg formada por dejetos de bovinos. As temperaturas foram aferidas diariamente e o processo finalizado aos 90 dias. A temperatura se manteve na fase termofílica por quatro semanas consecutivas e, entre a 5ª e 9ª semana, ainda permaneceu próxima da faixa termofílica, se igualando a temperatura ambiente nas últimas semanas de compostagem, indicando a finalização do processo. A maioria dos parâmetros avaliados (sólidos totais e voláteis, FDN, FDA, C) foram inicialmente influenciados pela monensina ($p < 0,05$), com menores tendências para reduções iniciais, o que torna mais lenta a degradação dos constituintes orgânicos. No entanto, com o avanço da compostagem, foi possível se obter reduções compensatórias mesmo na dose máxima de monensina utilizada. Esse comportamento ocorreu independente do peneiramento. As reduções de N iniciais não foram influenciadas ($p > 0,05$) pela monensina, já para reduções totais os valores obtidos foram semelhantes. As concentrações de NPK não sofreram ($p > 0,05$) influência das doses de monensina em ambos os peneiramentos, assim como os picos dos grupos funcionais. Conclui-se as concentrações de monensina utilizadas não influenciaram a qualidade do composto final e nem foi verificada influência do peneiramento na maioria dos parâmetros avaliados. Logo, os dejetos podem ser empregados de forma íntegra para a compostagem.

Palavras-chave: ionóforo, qualidade do composto, reduções

14- INTRODUÇÃO

Na produção animal o uso de antibióticos para tratamentos e prevenção de doenças é amplamente empregado e, para a produção na bovinocultura, também se faz uso em dosagens subterapêuticas como melhoradores de desempenho (Bragotto e Silva, 2020). Entre estes melhoradores, a monensina é um dos ionóforos mais utilizados atualmente no Brasil por inibir precursores da metanogênese, que reduz perdas energéticas e assim há destinação de mais energia para a produção (Appuhamy et al., 2013). Nos últimos anos vem surgindo uma maior discussão sobre contaminantes emergentes, como no caso de antibióticos, visto que no Brasil há uma projeção em torno de 8.447 toneladas de antimicrobianos consumidos em 2030 na alimentação animal (Van Boeckel et al., 2015). Através do dejetos até 90% do antibiótico ofertado pode ser excretado, pois são pouco absorvidos pelo intestino do animal (Sarmah et al., 2006). Dessa forma, a bovinocultura necessita de alternativa para o melhor manejo dos resíduos produzidos, pois esta é umas das principais atividades econômicas brasileira (IBGE, 2022).

A compostagem é uma forma de tratamento que pode ser empregada em dejetos provenientes de animais alimentados com monensina, pois é imprescindível um tratamento antes da aplicação no solo como fertilizante, pois reduzindo a carga de antibióticos nos dejetos, também reduz a possibilidade de serem liberados no ambiente (Kang et al., 2013). Outro meio seria uso de menor dosagem de monensina, mas sem prejudicar sua ação, como relatado por Phipps et al. (2000), dessa forma reduzindo custo e possibilidade de contaminação por menor excreção desse produto nos dejetos. Isto vem se tornando uma preocupação pela possibilidade de desenvolvimento de genes resistentes a antibióticos para animais e humanos (Oliver et al., 2020). O manejo empregado na compostagem influencia na degradação dos antibióticos, principalmente pelo revolvimento, como observado por Munaretto et al. (2016), pois com manejo mais intensivo na compostagem, houve 40% de redução para concentrações de monensina.

A compostagem é um processo aeróbio de degradação da matéria orgânica sob condições controladas, capaz de transformar resíduos orgânicos poluentes em um material estável e sanitizado (Orrico Junior et al., 2018). Em geral, a compostagem apresenta custo relativamente baixo para a sua implantação, sendo uma forma de reciclagem que contribui para uma economia circular dentro da propriedade (Czekala et al., 2023). A compostagem alcança temperaturas termofílicas, o que poderia auxiliar na

degradação de antibióticos, como observado por Arikan et al. (2009), ao compostarem dejetos de bovinos com redução de 98% da clortetraciclina após 30 dias. A fase termofílica também contribui para a redução mais eficaz de genes resistentes a antibióticos e sua propagação, além de bactérias patogênicas (Xie et al., 2023).

Na bovinocultura, principalmente a leiteira, é utilizada grande quantidade de água para limpeza de instalações, o que eleva o volume de resíduos que é encaminhado para a digestão anaeróbia. A separação das frações sólido-líquida pode ser uma forma de melhorar o processo de tratamento, atenuando a quantidade de antibióticos que entram nos biodigestores, e a parte sólida que ainda contém antibiótico, pode ser destinada à compostagem (Hafner et al., 2017; Marti et al., 2020). A técnica de separação de frações também pode ser uma forma de diminuir os impactos causados pelos antibióticos nos microrganismos que realizam a degradação da matéria orgânica na compostagem. Porém, essa técnica ainda é pouco estudada com esse intuito, sendo mais comum trabalhos que façam este procedimento depois da biodigestão e recomendem o uso da fração sólida na compostagem. Portanto, abre-se precedentes para a realização de estudos realizando essa técnica para degradação de antibióticos e o comportamento do processo.

Dessa forma, este trabalho baseou-se nas hipóteses: 1) a monensina influencia a compostagem dos dejetos, resultando em atraso na degradação dos constituintes sólidos e orgânicos, 2) o peneiramento dos substratos antes da compostagem influenciará no desenvolvimento do processo. Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar a compostagem de dejetos de bovinos alimentados com inclusões de monensina na dieta e separação de frações sólido-líquido.

15- MATERIAL E MÉTODOS

15.1- Local do experimento e coleta de dejetos

A etapa de alimentação e coleta dos resíduos gerados pelos bovinos foi conduzida na Fazenda Experimental, e as análises laboratoriais realizadas no Laboratório de Manejo de Resíduos Agropecuários, ambos pertencentes a Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS, Brasil (latitude 22°11'38''S, longitude 54°55'49''W e 462 m acima do nível do mar). O experimento com os animais foi aprovado para condução de acordo com as diretrizes do Comitê de Ética no Uso Animal, protocolo 16/2021 aprovado em 30/11/2021.

Os animais utilizados foram da raça Jersey e permaneceram alojados em baias individuais, cobertas e com piso de concreto, equipadas com bebedouro automático e comedouro individuais. No total foram utilizados cinco novilhos com peso médio de 350 kg. Primeiramente os animais foram adaptados a dieta contendo 50% de feno de aveia e 50% de concentrado (a base de milho moído, farelo de soja, ureia e premix mineral e vitamínico) durante duas semanas. A partir desse período de adaptação iniciou-se a fase experimental, adotando-se como base a matéria seca ingerida (MSI) de 2,5% de peso corporal (PC), garantindo-se que fossem permitidas sobras de no mínimo 10% em relação ao ofertado. As dietas foram ofertadas duas vezes ao dia, às 07h00 e às 15h00, sendo as sobras retiradas dos cochos antes da primeira oferta de alimento no dia. As inclusões de monensina que caracterizaram os tratamentos experimentais consistiram em cinco níveis: 0; 1,8; 3,6; 5,4 e 7,2 mg kg⁻¹ de MSI. As doses foram ofertadas para os cinco animais ao mesmo tempo, utilizando-se o período de sete dias para a oferta de cada dieta, sendo os quatro primeiros para adaptação e os três últimos para a coleta dos resíduos. Desta forma, o período experimental completo foi de cinco semanas e a ordem de oferta dos tratamentos foi a partir do controle até a maior dose de inclusão.

A coleta de dejetos foi realizada por meio da raspagem do piso, sem a adição de água e considerando-se a quantidade acumulada dentro de 24h. Os dejetos foram então congelados em freezer horizontal para utilização no ensaio de compostagem.

15.2- Tratamentos testados e condução da compostagem

Adotou-se delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 5 x 9 (doses de monensina x tempos de avaliação da compostagem), com três repetições para cada tempo. Os tempos foram: 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 70 e 90 dias. Outra condição testada foi o peneiramento, onde os dejetos peneirados (P) foram colocados em recipientes, acrescentado água e homogeneizados, para então serem peneirados com peneira de 1mm e somente o sólido retido na peneira foi utilizado como substrato para a compostagem. Os dejetos não peneirados (NP) não passaram por esse processo. Os resultados foram avaliados de forma independente para a condição P e NP.

Para a garantir uma amostragem mais homogênea dos tratamentos ao longo dos diversos períodos de amostragem, foi adotada a técnica do saco enterrado. Com essa técnica é possível acompanhar as mudanças na composição química do material ao longo do tempo e analisar com acurácia a degradação e os efeitos de aditivos no processo de compostagem (Leite et al., 2022; Itävaara et al., 1997). A caracterização dos resíduos utilizados na formação das bolsas está apresentada na Tabela 1.

Tabela 1: Caracterização inicial dos dejetos de bovinos utilizados para a compostagem.

Tratamentos	C%	N %	ST %	SV %	FDN %	FDA %
<i>Não Peneirado</i>						
Controle	27,15	1,87	23,79	85,14	43,94	23,86
1,8 mg	23,38	1,89	25,73	83,67	43,03	21,61
3,6 mg	22,25	1,66	21,01	85,09	48,13	26,72
5,4 mg	25,67	1,79	24,70	83,68	48,13	26,52
7,2 mg	24,51	1,86	22,91	82,77	42,04	22,79
<i>Peneirado</i>						
Controle	23,75	1,80	19,28	85,02	50,49	28,60
1,8 mg	21,49	1,75	19,28	87,07	48,53	26,42
3,6 mg	25,24	1,46	23,65	87,16	56,40	31,20
5,4 mg	26,39	1,70	18,35	86,35	53,83	28,88
7,2 mg	24,34	1,60	22,40	85,67	53,27	29,90

C= carbono, N= nitrogênio, ST= sólidos totais, SV= sólidos voláteis, FDN: fibra em detergente neutro, FDA: fibra em detergente ácido.

O tecido utilizado para a confecção das bolsas foi o nylon com 30- μm de malha (Khan et al., 2017). As bolsas possuíam tamanho de 20x10cm e foram adicionados cerca de 80 g de dejetos bovinos. Para cada tratamento foram utilizadas 27 bolsas, totalizando 270 unidades. As bolsas foram marcadas com um número único e os tratamentos identificados por amarrilhos de cores diferentes, o que facilitava a retirada das bolsas no momento da coleta. Para cada tempo de coleta, três bolsas de cada tratamento foram retiradas da leira de compostagem e não retornavam para o processo.

Foi construída uma leira de compostagem somente com dejetos bovinos, com capacidade de campo de 1000 kg. As bolsas foram acondicionadas em várias camadas da leira de forma aleatória para que todos os tratamentos fossem expostos às diferentes condições dependendo do local (base, meio, topo). A aeração foi feita pelo revolvimento manual nos dias das coletas das bolsas, assim como adequação da umidade. A leira de compostagem foi mantida em uma casa de vegetação, protegida da exposição direta do sol e chuva.

Nos dias de coleta as bolsas foram retiradas para avaliação da biodegradação do material e secagem para posteriores análises laboratoriais. Durante todo o período experimental as temperaturas foram aferidas diariamente com termômetro tipo espeto em 18 pontos aleatórios na base, centro e topo da leira. A compostagem foi finalizada aos 90 dias quando as temperaturas se mantiveram iguais à temperatura ambiente e as reduções de sólidos se estabilizaram.

15.3- Análises laboratoriais

As análises de ST, sólidos voláteis (SV) e pH foram realizadas de acordo com a metodologia descrita por APHA (2017). A análise de N (Kjeldahl) foi realizada de acordo com Detmann et al. (2012). A análise de C foi realizada de acordo com Yeomans e Bremner (1988). As análises de FDN e FDA foram realizadas de acordo com a metodologia descrita por Van Soest et al. (1991). Os teores de P e K foram determinados pelo descrito em EMBRAPA (2009). A análise de grupos funcionais foi realizada por espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR), modelo 4100 (Jasco Inc.), e os espectros foram adquiridos usando 32 varreduras na faixa de 4000 a 400 cm^{-1} , com resolução de 4 cm^{-1} (Hu et al., 2011).

15.4- Análise estatística

Para o estudo das variáveis de interesse foi realizado uma inspeção gráfica dos tratamentos em função ao tempo em que foram avaliados. As inspeções gráficas indicam que para estas variáveis, uma regressão não linear seria adequada para entender o comportamento das variáveis em estudo. Dentro das regressões não lineares, foi considerado a função exponencial seria a que melhor se ajusta à resposta das variáveis.

O modelo da função exponencial foi:

$$f(x) = f_0 + f_1 \cdot (1 - \exp(-k \cdot x))$$

Onde os parâmetros da função foram a seguir:

- f_0 : valor da função com $x = 0$ (*intercepto*)
- f_1 : $\lim_{x \rightarrow \infty} f_1 + f_0$, f_1 é o *ganho máximo conseguido por incremento de x*
- k : *constante relacionada à taxa de incremento*

Para verificar existência de diferença entre os parâmetros da função de acordo a cada tratamento, foi realizado teste F ($p < 0,05$) para considerar se as curvas são diferentes entre os tratamentos. Todas as análises foram realizadas no software R 4.3.2 (2023).

16- RESULTADOS E DISCUSSÃO

16.1- Temperatura

A temperatura no processo de compostagem é um dos principais fatores para a sua adequada execução. Durante as três primeiras semanas de compostagem houve a persistência de médias de temperatura termofílica (maior que 45°C), alcançando a máxima de 67,9°C na primeira semana e com queda gradual ao longo das semanas (Figura 1). Porém, entre a 5ª e 9ª semana a média de temperatura ainda se manteve próxima da faixa termofílica, se igualando a temperatura ambiente nas últimas semanas, sendo um indicativo da fase de maturação ou cura.

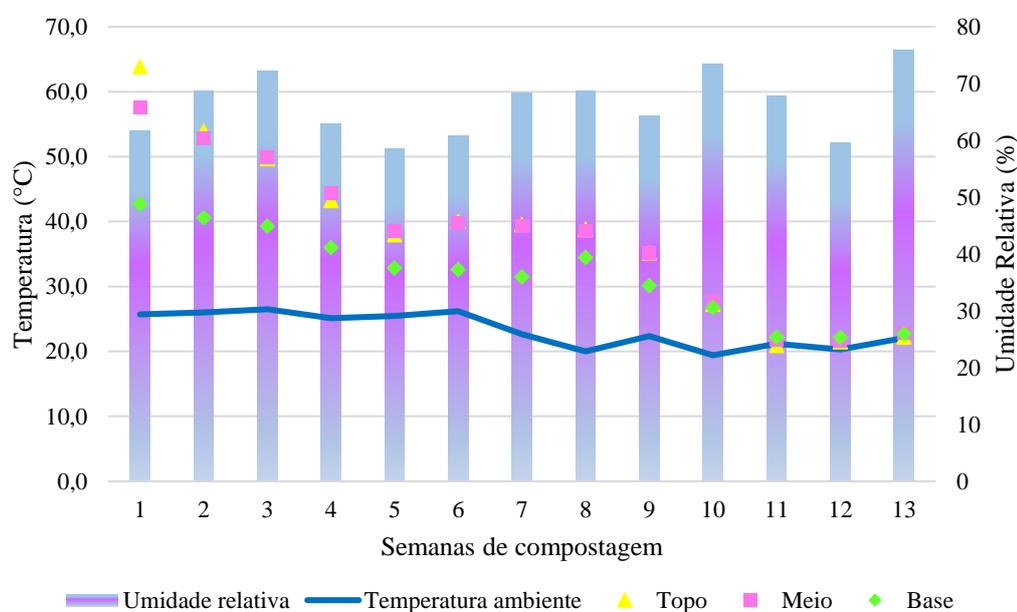


Figura 17: Médias de temperaturas semanais (base, centro e topo da leira), temperatura ambiente e umidade relativa do ar (UR%) durante o período de compostagem.

A permanência da fase termofílica durante a compostagem é importante para inativação de patógenos e sanitização do composto gerado, além de destruir sementes de plantas daninhas (Bernal et al., 2009). Em substratos que contenham ionóforos, a temperatura em conjunto com a umidade adequada, pode aumentar a degradação destes, pois favorecem o aumento da atividade microbiana que são capazes de degradá-los (Sun et al., 2014a). Porém, a monensina é mais resistente que outros ionóforos, como narasina

e salinomicina, e dependendo das condições pode não haver uma degradação expressiva, sendo a monensina mais resistente até mesmo à fotodegradação, pois sua estrutura possui em maioria ligações sigma que resultam em baixa absorção de luz acima de 220 nm (Sun et al., 2014b).

A alta temperatura nas primeiras semanas pode auxiliar a degradação de monensina, porém, o aporte de oxigênio é outro fator importante para a degradação de monensina por favorecer a atividade de microrganismos presentes na compostagem (Munaretto et al., 2016). Com o manejo de revolvimento e/ou aeração forçada, foram observadas pelos autores reduções de 39,9% das concentrações iniciais de monensina na compostagem de cama de frango após 150 dias (Munaretto et al., 2016). Estes autores afirmam que a narasina e salinomicina poderiam ficar somente empilhados por um período antes do uso no solo para degradação destes ionóforos, diferente da monensina. Contudo, não realizar o manejo se torna inviável pois ocupa espaço na propriedade, o que torna a compostagem essencial por acelerar o processo de degradação.

Em estudo conduzido por Arikan et al., (2016) realizaram-se a compostagem dejetos bovinos e aves em diferentes temperaturas e nível inicial de monensina de 10 mg kg⁻¹ MSI. Os autores relataram que as temperaturas termofílicas não foram superiores à temperatura ambiente em eficiência no decréscimo de monensina no composto, sendo que após 12 semanas de condução do processo, foram observados decréscimos de 10% em relação ao nível inicial. Esses resultados foram próximos ao reportado por Dolliver et al. (2008) ao compostarem dejetos de perus, onde o tempo de meia vida da monensina foi de 2-3 semanas, porém foi dependente do nível de manejo aplicado, sendo o mais intensivo ou em vessel mais eficientes e os que alcançaram maiores temperaturas. Dessa mesma forma ocorreu na compostagem de dejetos de equino contaminado com 0,328 mg kg⁻¹ de monensina, pois com a manutenção umidade, temperatura e revolvimentos periódicos, houve declínio de monensina e outros antibióticos, atribuídos ao manejo de compostagem mais intenso, com tempo de meia vida da monensina de 2 semanas (Storteboom et al., 2007).

Outro benefício relacionado a temperaturas termofílicas na compostagem é a redução de patógenos e genes resistentes a antibióticos (ARG's). Com o alcance de 65,8°C ocorreu a redução de 80% de ARG's após 28 dias de compostagem de dejetos de aves (Xie et al., 2023), pois a alta temperatura pode levar a inativação de enzimas celulares de bactérias originadas dos dejetos e diminuir significativamente o risco de

disseminação de bactérias resistentes a antibiótico (Xie et al., 2023). Assim, é possível afirmar o quanto o tratamento dos dejetos é importante para a mitigar os riscos de contaminação de antibióticos e ARG's no ambiente, sendo necessário a divulgação de pesquisas, além de compreensão e esforço de quem executa essas atividades no campo (Oliver et al., 2020).

16.2- Reduções de Sólidos Totais e Sólidos Voláteis

As reduções de sólidos foram afetadas ($p < 0,05$) pelas diferentes concentrações de monensina nas dietas dos animais. O f_0 nas curvas, são parâmetros que modelam a curva, e demonstram tendência em que um tratamento tem a reduzir primeiro a variável avaliada. Já a f_1 , demonstra o momento em que ocorre a estabilização da curva, e $f_0 + f_1$, onde se estabilizou. Sendo as reduções calculadas a partir da equação previamente descrita na metodologia. Dessa forma, podemos observar maior tendência em iniciar as reduções de ST para a condição controle (23,38%), que não diferiu da dose 1,8 mg de monensina (21,34%) para NP (Figura 2). Como nos primeiros dias de compostagem há uma maior quantidade de matéria orgânica e nutrientes disponíveis para a degradação, logo, é comum que ocorram reduções consideráveis de ST nesse período. No entanto, as reduções de ST nas doses 3,6, 5,4 e 7,2 mg de monensina se iniciaram com atraso em relação ao controle a dose mais baixa do ionóforo, 10,69, 9,33 e 9,39%, respectivamente, e não difeririam entre si ($p < 0,05$).

As reduções de ST totais alcançadas aos 90 dias na condição de substratos NP também foram influenciadas pelas doses de monensina com valor de 51,84; 53,06; 48,03; 46,78 e 44,65%, respectivamente (Figura 2), a partir da resolução da equação. Isso pode ter ocorrido devido ao atraso nas reduções causado pela monensina no início da compostagem. Então, quando houve menos interferência da monensina com o decorrer do processo, a degradação de ST pode ser continuada, também pela inclinação das curvas, mais inclinadas próximo a 50 dias nos tratamentos com monensina, visto a inclinação anterior a esse período para a condição controle, indicando o alcance mais rápido da estabilidade (Figura 2).

Na compostagem de dejetos de perus contaminadas com antibióticos e conduzida em três formas diferentes, Dolliver et al. (2008) observaram que a máxima redução de

massa alcançada foi de 28,5% no sistema em vessel, 20,7% e 12,5% para manejo intensivo e pouco manejo, respectivamente. Nesse caso, os autores associaram as baixas reduções ao próprio manejo aplicado, pois em todos os tipos de compostagem, o dejetos foi contaminando com a mesma quantidade de monensina.

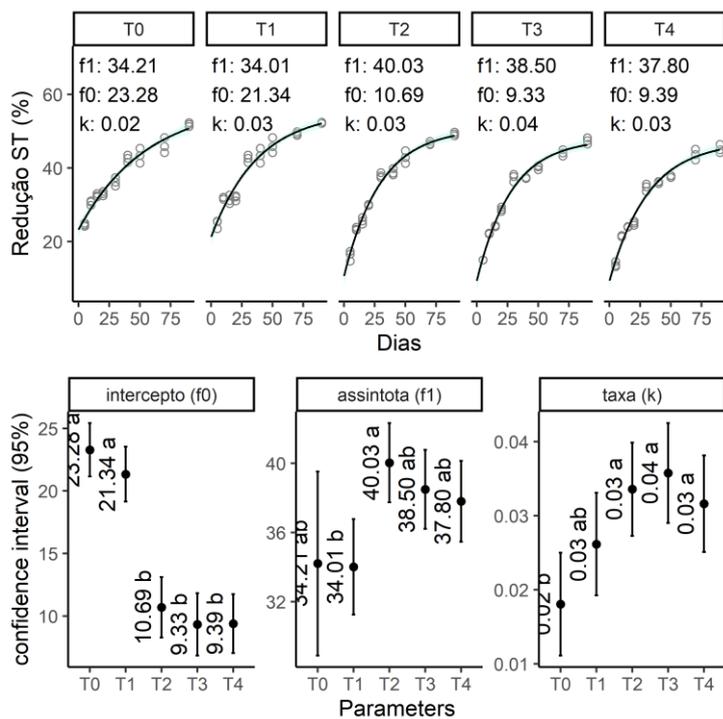


Figura 18: Reduções de sólidos totais com crescentes doses de monensina nos dejetos de bovinos não peneirados. T0: controle; T1: 1,8 mg; T2: 3,6 mg; T3: 5,4 mg; T4: 7,2 mg.

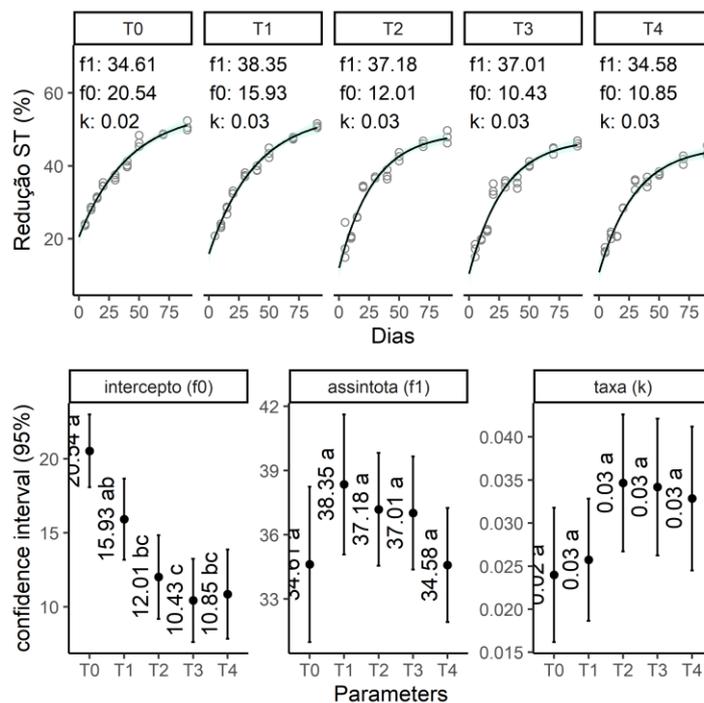


Figura 19: Reduções de sólidos totais com crescentes doses de monensina nos dejetos de bovinos peneirados. T0: controle; T1: 1,8 mg; T2: 3,6 mg; T3: 5,4 mg; T4: 7,2 mg.

Como o processo foi finalizado aos 35 dias, esse curto período pode ter prejudicado a redução de massa e de monensina, onde houve um decréscimo gradual de monensina em torno de 54% (Dolliver et al., 2008). Com redução de massa de 35%, Arikan et al. (2016) não observaram diferença na compostagem de dejetos de bovinos leiteiros e aves, com ou sem monensina.

Para as condições P (Figura 3), a redução de ST se inicia primeiramente na condição controle (20,54%), semelhante ($p < 0,05$) apenas com a dose 1,8 mg (15,93%). Com o peneiramento, há maior concentração fibrosa retida na peneira (Tabela 1) o que poderia dificultar a redução de sólidos. Porém o comportamento de redução, obteve porcentagens próximas ao substrato NP, pois a monensina também retardou as reduções iniciais de compostagem. Mesmo com o peneiramento, é possível que haja quantidades consideráveis de monensina presentes nos dejetos, como relatado por Hurst et al. (2018), ao realizarem a separação de frações nos dejetos de bovinos leiteiros, onde a maior concentração de monensina e lasalocida foram encontradas na fração sólida. Mesmo que os dejetos possam conter grande parte de monensina, no presente trabalho, em ambas as condições de peneiramento as reduções de sólidos alcançaram valores próximos a 50%,

(49,43; 51,70;46,69;44,95 e 43,11%, respectivamente para as crescentes doses) o que é o esperado para a compostagem (Sunada et al., 2015).

Nas reduções de sólidos voláteis, foi possível observar a ação da monensina em inibir a degradação inicial de matéria orgânica, pois na condição NP (Figura 4), as reduções ($p < 0,05$) para o f0 do controle e 1,9 mg, foram 27,81 e 25,95%, respectivamente, e as outras condições foram semelhantes entre si com média de 14,60%. Com as reduções de SV é possível avaliar a degradação da matéria orgânica, e como os microrganismos são responsáveis pela evolução no processo de compostagem, com a presença de antibióticos, a liberação de calor e degradação de matéria orgânica pode ser atrasada dependendo da concentração do antibiótico (Ezzariai et al., 2018). As reduções totais foram 62,91; 62,91, 60,77; 57,22 e 56,45%, respectivamente. A monensina pode reduzir a população microbiana, principalmente de bactérias heterotróficas, no entanto sem alterar a população de actinobactérias ou fungos, quando foi avaliada no solo (Granados-Chinchilla et al., 2020). Estes autores observaram que em 11 dias, na concentração de 1 mg kg^{-1} de solo seco, a monensina já não era detectada, e com a concentração de 10 mg kg^{-1} houve redução de 39,6% em relação as concentrações iniciais.

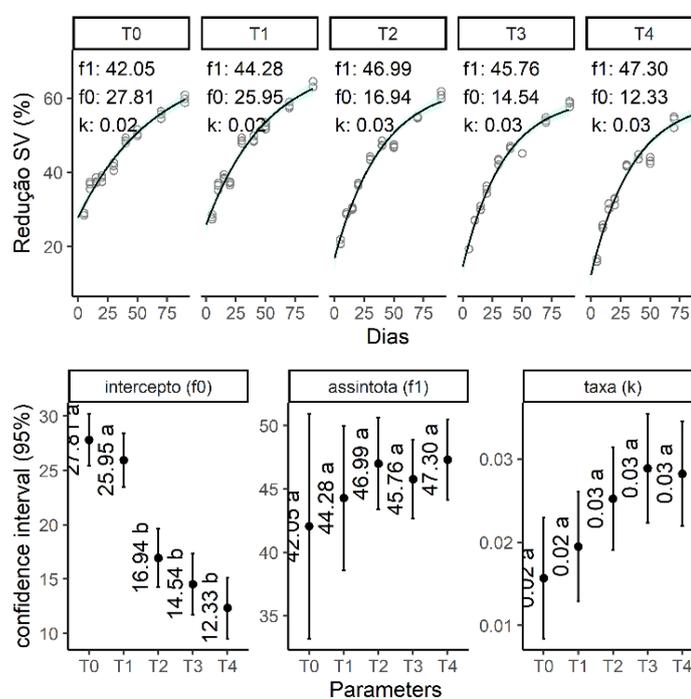


Figura 20: Reduções de sólidos voláteis com crescentes doses de monensina nos dejetos de bovinos não peneirados. T0: controle; T1: 1,8 mg; T2: 3,6 mg; T3: 5,4 mg; T4: 7,2 mg.

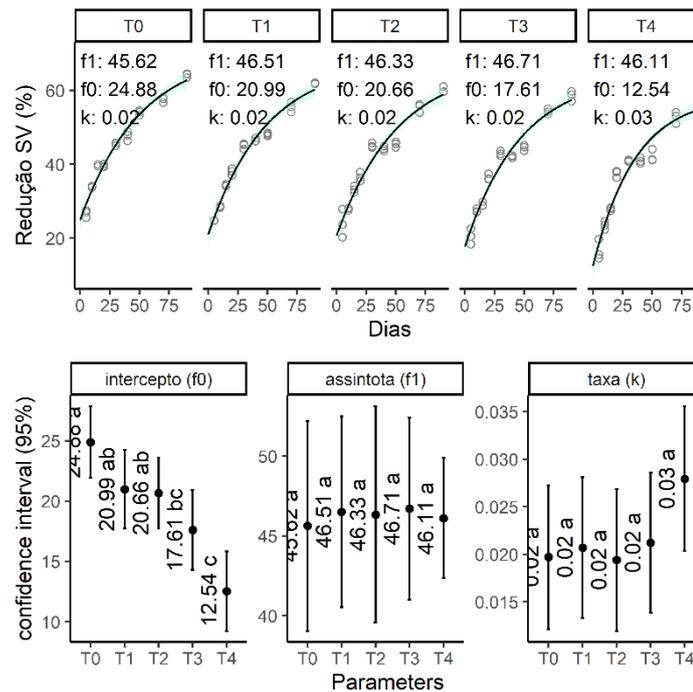


Figura 21: Reduções de sólidos voláteis com crescentes doses de monensina nos dejetos de bovinos peneirados. T0: controle; T1: 1,8 mg; T2: 3,6 mg; T3: 5,4 mg; T4: 7,2 mg.

Para a condição P, as reduções de SV mesmo com as reduzidas doses de monensina utilizadas neste trabalho, foi possível observar a ação prejudicial do ionóforo sobre as reduções de SV iniciais (Figura 5). A redução de SV da compostagem para substratos originados do grupo controle iniciaram primeiro (24,88%), que não diferiu ($p > 0,05$) das inclusões de 1,8 e 3,6 mg de monensina, mas diferiu ($p < 0,05$) de 5,4 e 7,2 mg de monensina (17,61 e 12,54%, respectivamente). As reduções totais do controle até 7,2 mg foram 62,92; 59,81; 59,33; 56,60 e 55,55%, respectivamente. O valor obtido por Hu et al. (2011), na compostagem de dejetos de aves e suínos, a redução de SV foi de 72% e 71%, respectivamente, na presença de tetraciclinas. Contudo, no presente trabalho, ainda houve altas reduções de SV mesmo com a presença da monensina inicialmente, se comparada a compostagem feita por Arikan et al. (2016), pois a máxima redução observada foi de 35%, em temperatura termofílica na compostagem de dejetos de vacas leiteiras.

16.3- Reduções de FDN e FDA

Nas reduções de FDN na compostagem de dejetos na condição NP, também houve influência da inclusão da monensina sobre a degradação inicial, assim como nos outros constituintes sólidos analisados (Figura 6). A tratamento controle e 1,8 mg apresentaram tendência de redução ($p>0,05$) de 27,81 e 25,95%, respectivamente, diferindo das demais inclusões, que foram semelhantes entre si ($p>0,05$) com média 14,60%. Contudo, as reduções totais foram para controle foi 62,91% e para 7,2 mg foi de 56,45%. A FDN contém hemicelulose, que apesar de ser um dos principais constituintes de parede celular, pode ser facilmente degradada durante a compostagem e servir de substrato energético para os microrganismos, logo após o consumo dos nutrientes mais biodisponíveis (Yu et al., 2019), o que pode explicar as altas porcentagens de redução dessa fração.

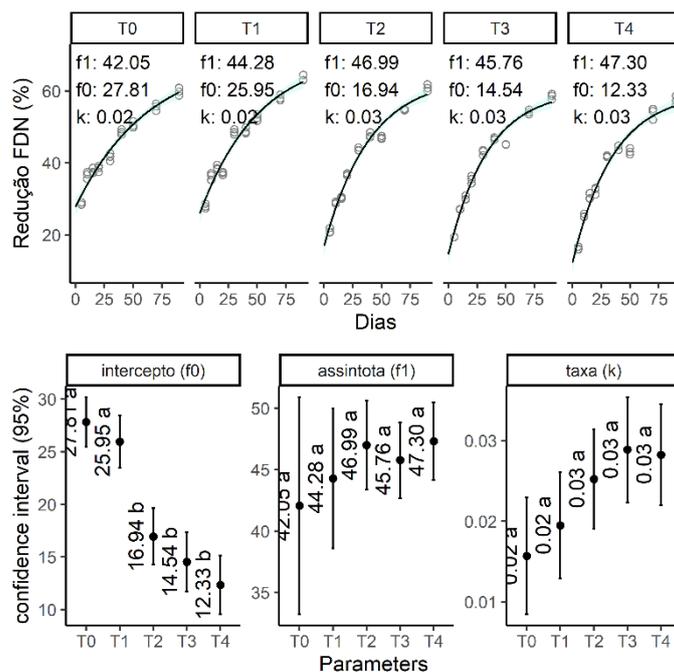


Figura 22: Reduções de FDN com crescentes doses de monensina nos dejetos de bovinos não peneirados. T0: controle; T1: 1,8 mg; T2: 3,6 mg; T3: 5,4 mg; T4: 7,2 mg.

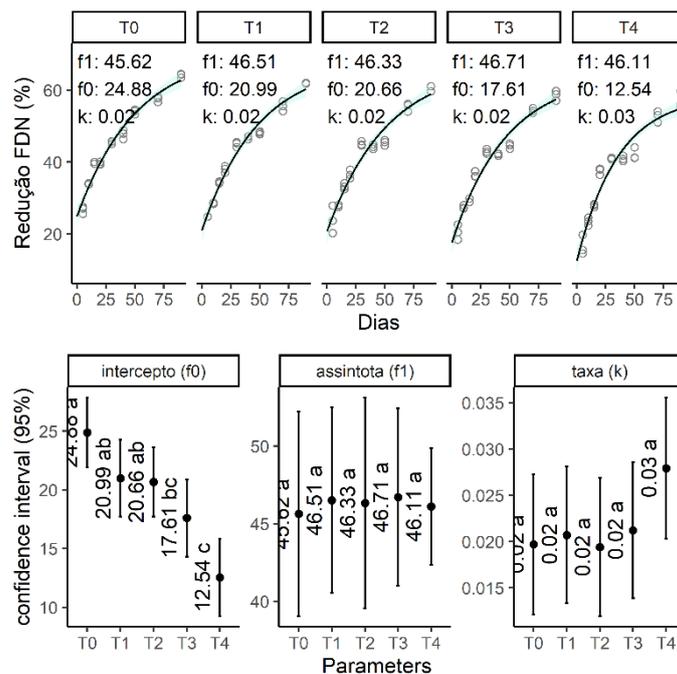


Figura 23: Reduções de FDN com crescentes doses de monensina nos dejetos de bovinos peneirados. T0: controle; T1: 1,8 mg; T2: 3,6 mg; T3: 5,4 mg; T4: 7,2 mg.

Para a condição com peneiramento, a redução de FDN no tratamento controle não diferiu ($p < 0,05$) das inclusões de 1,8 mg e 3,6 mg, para o início de sua degradação (Figura 7). Como nessa condição o tratamento 3,6 mg também foi semelhante ao controle, isso poderia sugerir mais uma vez que o peneiramento reduz a carga de antibióticos. É provável que ao peneirar os dejetos tenha reduzido a carga de ionóforo nos substratos, permitindo assim melhor atuação dos microrganismos na fase inicial da compostagem. No entanto, as reduções totais de FDN foram de 62,96% no controle e 55,55% na dose máxima de monensina.

Nas reduções de FDA nos dejetos NP (Figura 8), a maior porcentagem para início das reduções ($p < 0,05$) foi para o tratamento controle (14,93%) em relação aos dejetos que continham monensina, estes não diferiram entre si ($p > 0,05$) com média de 2,11%. Porém, com o avanço da compostagem, foi possível observar acréscimos das reduções aos 90 dias, com menor redução em 7,2 mg de monensina (44,78%), e as demais condições não diferiram entre si ($p > 0,05$). Essa fração é composta pela celulose, que é de mais difícil degradação que hemicelulose, e por lignina, que somente é degradada parcialmente (Yu et al., 2019). Houve uma degradação compensatória durante o período ao final do processo, sendo um indicativo da disponibilidade e utilização do material fibroso contido nos dejetos, demonstrando a eficiência do processo. A degradação da fração FDA é

importante para a maturação e qualidade do composto, pois celulose e lignina são as principais moléculas que dão origem às substâncias húmicas (Silva et al., 2013).

As reduções de FDA são mais expressivas durante a maturação no processo de compostagem, pois os principais utilizadores dessa fração são fungos, que estão em menor quantidade que bactérias e são menos tolerantes à altas temperaturas, tendo melhor atuação abaixo de 60°C (Bernal et al., 2009). Os fungos além de secretarem enzimas extracelulares possuem o micélio, que consegue penetrar a matéria orgânica em compostagem, ajudando a degradação (Yu et al., 2019). Porém, como a única fonte de fibra utilizada foi resultante da alimentação dos animais, a compostagem foi iniciada com essa fração já pré degradada, o que pode ter facilitado as reduções de FDA alcançarem em torno de 50% em todos os tratamentos testados.

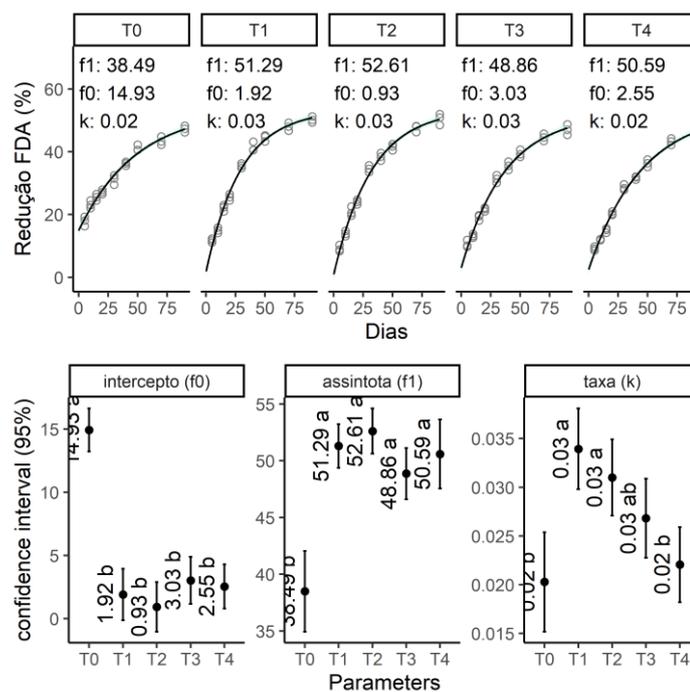


Figura 24: Reduções de FDA com crescentes doses de monensina nos dejetos de bovinos não peneirados. T0: controle; T1: 1,8 mg; T2: 3,6 mg; T3: 5,4 mg; T4: 7,2 mg.

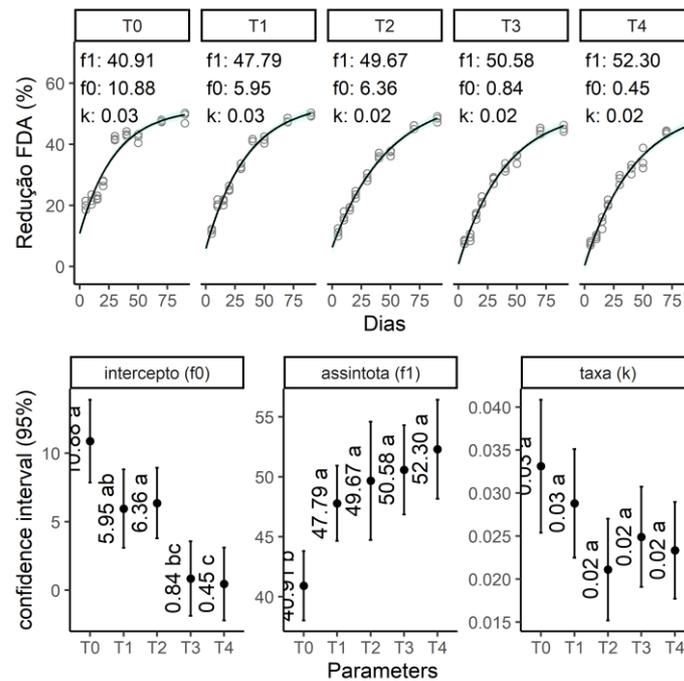


Figura 25: Reduções de FDA com crescentes doses de monensina nos dejetos de bovinos peneirados. T0: controle; T1: 1,8 mg; T2: 3,6 mg; T3: 5,4 mg; T4: 7,2 mg.

Para as reduções de FDA no dejetos P (Figura 9), a condição controle apresentou os maiores ($p>0,05$) valores para redução inicial de 10,88%, seguida dos substratos originados pelas doses de 3,6 mg e 1,8 mg, e menores reduções ($p<0,05$) em 5,4 mg e 7,2 mg. Contudo, as reduções totais de FDA foram 49,04; 50,53; 47,82; 43,06 e 44,10%, respectivamente em ordem crescente de dosagem. Com o peneiramento, somente a parte mais fibrosa dos dejetos foi incluída para a compostagem, e mesmo nessa condição, foi possível alcançar altas reduções, provavelmente pelas altas temperaturas que podem beneficiar a degradação, além do adequado manejo ao longo de todo o processo.

16.4- Reduções de C e N

O carbono é um dos principais nutrientes para o processo de compostagem, pois este serve como fonte de energia para os microrganismos e é digerido e transformado em CO_2 e calor, já o N é necessário para a síntese microbiana (Valente et al., 2009). As reduções de C nos dejetos estão diretamente ligadas à perda de massa pela degradação da matéria orgânica, indicando boas condições fornecidas aos microrganismos (Vilela et al., 2022). As reduções de C nos dejetos NP (Figura 10) foram influenciadas pelas doses de

monensina ($p < 0,05$), sendo o tratamento controle aquele com maior tendência na redução inicial (26,36%) e os substratos originados da inclusão de 7,2 mg os que apresentaram menores valores (7,66%). Mas com o avanço da compostagem, as reduções totais foram 51,92; 58,38; 53,66; 54,25 e 54,38%, respectivamente. Na compostagem de cama de frangos feita por Ramaswamy et al. (2010) contendo salinomocina, foi observada apenas 10% de perdas de C em relação ao conteúdo inicial após 38 dias. Porém, a cama de frango normalmente possui C menos disponível aos microrganismos pelo tipo de material utilizado, o que pode interferir na degradação.

Nas reduções de C em dejetos P (Figura 11), o tratamento controle apresentou comportamento semelhante ($p > 0,05$) ao da inclusão 1,8 mg (21,61 e 17,27%, respectivamente) e com menores valores para 5,4 e 7,2 mg ($p < 0,05$), que não diferiram entre si com porcentagens de 9,65 e 6,86%, respectivamente. Para redução total de C aos 90 dias, os valores foram 54,60; 54,82; 58,31; 53,29 e 53,42%, respectivamente para as doses crescentes de monensina.

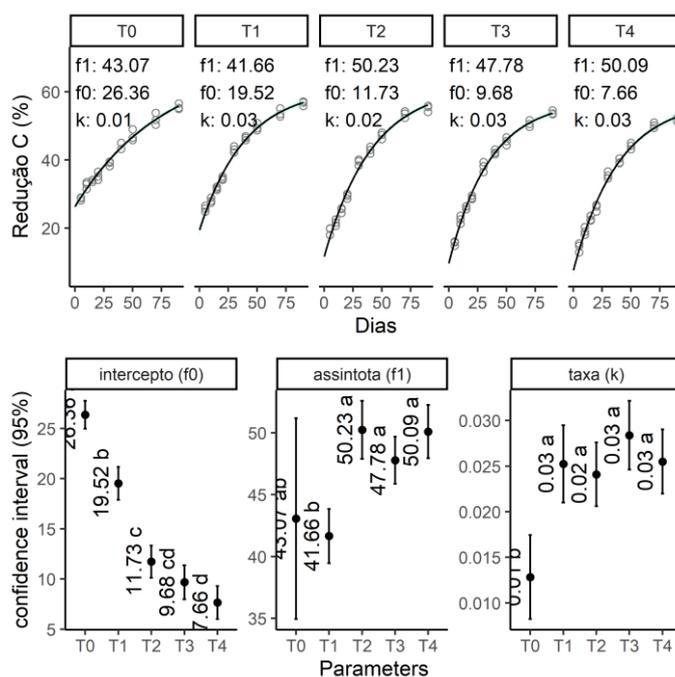


Figura 26: Reduções de C com crescentes doses de monensina nos dejetos de bovinos não peneirados. T0: controle; T1: 1,8 mg; T2: 3,6 mg; T3: 5,4 mg; T4: 7,2 mg.

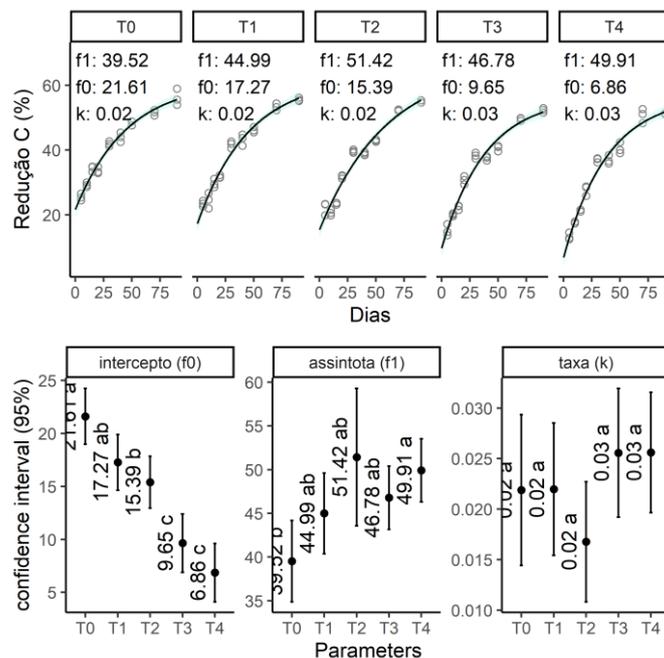


Figura 27: Reduções de C com crescentes doses de monensina nos dejetos de bovinos peneirados. T0: controle; T1: 1,8 mg; T2: 3,6 mg; T3: 5,4 mg; T4: 7,2 mg.

No geral, as duas condições de peneiramento apresentaram reduções de C com valores próximos, pois mesmo com o peneiramento, grande parte de C pode ser encontrada na parte fibrosa que ficou retida na peneira.

As tendências para redução de N não foram influenciadas ($p > 0,05$) pelas inclusões de monensina no período inicial da compostagem de dejetos NP (Figura 12). Enquanto no período restante de avaliação, as menores reduções da fração N ocorreram no controle ($p < 0,05$). As perdas de N ocorrem principalmente pela volatilização de NH_3 na compostagem, algo que já é intrínseco ao processo (Agyarko-Mintah et al., 2017). Mas com o pH alcalino principalmente no período inicial (Figura 14), há um favorecimento às perdas de N e neste trabalho, o pH foi alcalino em todo o período de compostagem, além das oscilações com aumento de pH, o que também pode favorecer a volatilização de NH_3 . Porém, os dejetos bovinos apresentam baixos valores de N, o que não implica em grandes perdas.

Outro ponto que também pode ser observado é a inclinação das curvas de redução, pois no controle, há uma maior inclinação da curva próximo aos 50 dias, o que pode indicar tendência a estabilidade, e nas demais condições, principalmente em 3,6; 5,4 e 7,2 mg de monensina, onde há menor curvatura, com indicativo que ainda estavam ocorrendo

reduções até o final da compostagem. As reduções totais entre controle e 7,2 mg, por exemplo, foram de 33,53 e 31,31%, respectivamente. A ação do ionóforo pode ter efeito sobre a seleção microbiana responsável pela retenção de N, as inibindo. As perdas de N avaliadas por Ramaswamy et al. (2010) chegaram a 60% em pilhas abertas, porém com cama de frango contendo salinomicina. Entretanto, os dejetos de frangos normalmente contêm maiores concentrações de N que dejetos bovinos, que podem ser perdidos via volatilização.

A tendência inicial nas reduções de N em dejetos P, os menores valores (3,36%, $p < 0,05$) ocorreram em substratos originados da dose de 1,8 mg de monensina (Figura 13). Para as reduções totais aos 90 dias de compostagem, as porcentagens também próximas, com controle no valor de 32,48 e 7,2 mg com 28,44%. O comportamento das curvas de redução de N foi semelhante ao NP, principalmente o controle, pois a redução é atenuada quando próxima aos 50 dias de compostagem.

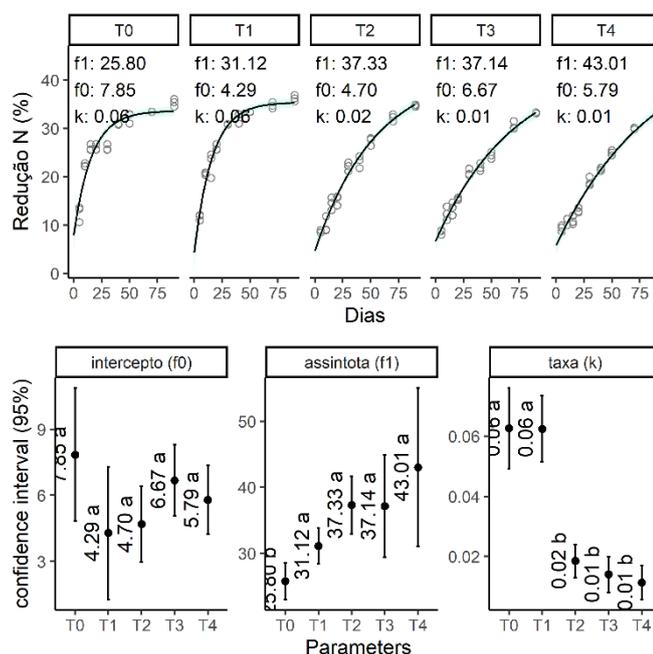


Figura 28: Reduções de N com crescentes doses de monensina nos dejetos de bovinos não peneirados. T0: controle; T1: 1,8 mg; T2: 3,6 mg; T3: 5,4 mg; T4: 7,2 mg.

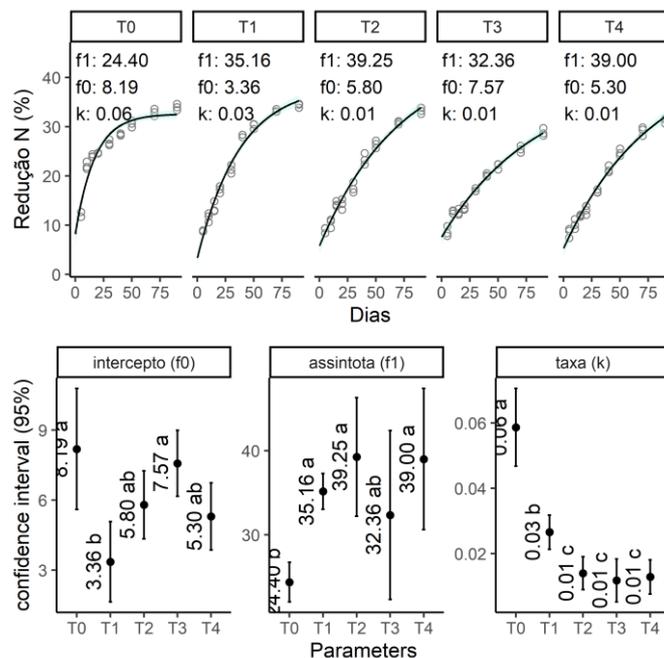


Figura 29: Reduções de N com crescentes doses de monensina nos dejetos de bovinos peneirados. T0: controle; T1: 1,8 mg; T2: 3,6 mg; T3: 5,4 mg; T4: 7,2 mg.

Com a separação sólido-líquido nos dejetos de bovinos, há mitigação da volatilização de NH_3 , tanto no armazenamento, quanto na aplicação ao solo (Aguirre-Villegas et al., 2019). Ao comparar a separação sólido-líquido com dejetos sem separação ou em tanques de armazenamento de dejetos, a separação pode alcançar de 38 a 74% menos emissões de gases de efeito estufa, sendo a separação de frações definida como uma estratégia para reduções de emissão de gases de efeito estufa, pois também há mitigação na emissão de N_2O . Porém pode haver altas emissões de NH_3 devido aos revolvimentos como manejo da compostagem (Fillingham et al., 2017).

O pH dos dejetos NP nos primeiros dias de compostagem se encontravam próximos à 9 e somente no tratamento 7,2 mg ocorreu queda mais acentuada para 7,6 no dia 15 (Figura 14). A queda no valor de pH é comum nos primeiros dias de compostagem devido a degradação da matéria orgânica e produção de ácidos orgânicos. A presença de antibióticos pode reduzir o crescimento de bactérias amonificantes, o que reduziria as perdas de N através da volatilização de NH_3 (Wang et al., 2022), porém neste trabalho não houve diferença acentuadas nas reduções de N, como visto anteriormente, mesmo com pH alcalino em todas as condições testadas. Aos 70 dias de compostagem o pH alcançou estabilidade, com valores próximos em todos os tratamentos, finalizando o

processo na faixa considerada ótima para os microrganismos que é entre 7 e 8 (Wang et al., 2022).

Os comportamentos das curvas de pH nos dejetos P foram menos variáveis que na condição NP nas primeiras semanas (Figura 15), mas inicialmente com valores também próximos à 9. Aos 15 dias o tratamento 7,2 mg apresentou queda junto com 1,8 mg. Porém, a partir do dia 20, os valores de pH estavam próximos em quase todas as condições, menos no controle. A partir dos 50 dias a curva de pH se estabilizou, finalizando o processo entre 7,5 e 8, demonstrando estabilidade do processo de compostagem.

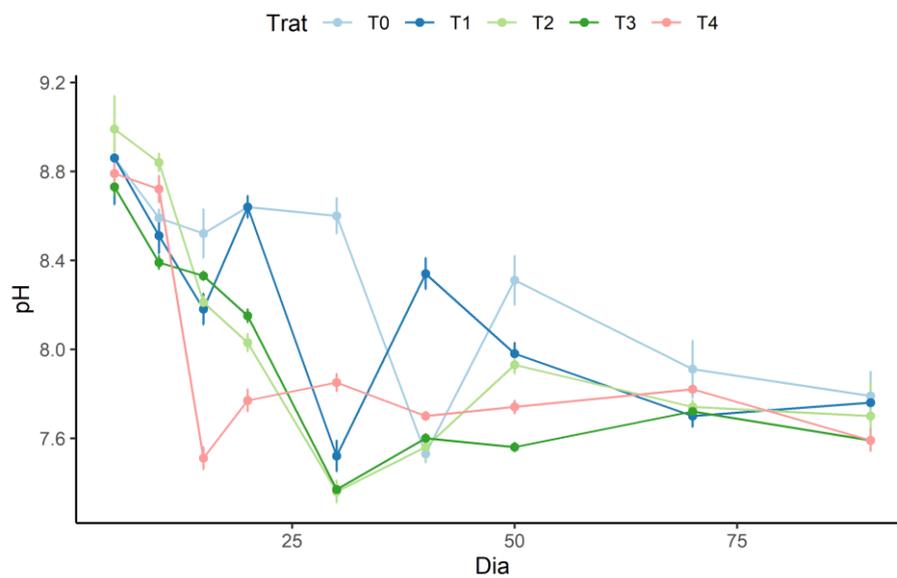


Figura 30: pH na compostagem de dejetos bovinos não peneirados T0: controle, T1: 1,8 mg, T2: 3,6 mg, T3: 5,4 mg, T4: 7,2 mg.

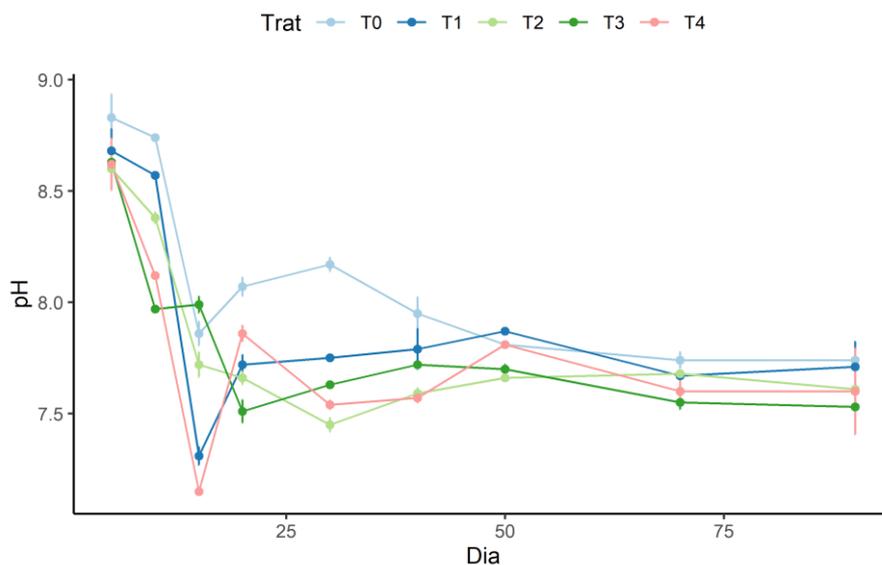


Figura 31: pH na compostagem de dejetos bovinos peneirados T0: controle, T1: 1,8 mg, T2: 3,6 mg, T3: 5,4 mg, T4: 7,2 mg.

16.5- Qualidade do composto

Em relação a qualidade do composto gerado, foram analisados os macronutrientes N, P e K (Tabela 2), sendo que com a degradação da matéria orgânica é esperado que haja concentração desses nutrientes no composto. No entanto, não foram observadas diferenças entre os tratamentos testados em ambas as condições de peneiramento. As concentrações de N em peneirados e não peneirados foram em torno de 30 g kg^{-1} , resultado superior ao de Wang et al. (2022), que obtiveram 22 g kg^{-1} de N ao final da compostagem de dejetos de vacas simental alimentadas com monensina, sem diferença na concentração de N com ou sem o uso de monensina.

Os resultados observados no presente estudo podem ser devido às mesmas dietas e ao mesmo premix vitamínico mineral fornecidos, além das mesmas proporções de volumoso:concentrado, apenas mudando a quantidade de monensina ofertada, que não interferiu nas concentrações ao final da compostagem.

Tabela 2: Concentrações totais de N, P e K ao final de 90 dias de compostagem dos dejetos de bovinos alimentados com doses de monensina peneirados ou não.

Nutrientes (g kg ⁻¹)	Inclusões de monensina kg ⁻¹ MSI					p-valor
	Controle	1,8	3,6	5,4	7,2	
<i>Não peneirado</i>						
N	27,97	32,22	27,35	32,37	26,63	NS
P	12,71	13,20	12,16	13,00	13,36	NS
K	1,25	1,28	1,21	1,13	1,21	NS
<i>Peneirado</i>						
N	28,02	25,54	26,60	26,83	26,53	NS
P	11,95	10,22	8,37	10,62	10,66	NS
K	1,08	0,95	1,06	1,03	0,86	NS

NS: não significativo.

As concentrações de N, P e K alcançadas nessa pesquisa estão todas dentro das normas de quantidades mínimas estabelecidas pela Instrução Normativa nº 61, de 08 de julho de 2020, que estabelece as regras sobre fertilizantes orgânicos e dos biofertilizantes destinados à agricultura (BRASIL, 2020).

A análise no FTIR é utilizada para caracterização dos produtos, podendo monitorar a humificação e maturação na compostagem pela presença de grupos aromáticos, e grupos alifáticos para compostos não maturados, a partir das mudanças devido a degradação da matéria orgânica (Santos et al., 2021). De acordo com Asses et al. (2018), absorção de bandas em torno de 3300 cm⁻¹ corresponde a grupos C-H, e grupos OH como álcoois, fenóis e ácidos carboxílicos. De 2950-2925 cm⁻¹ correspondem a grupos alifáticos com estreitamento C-H. As bandas localizadas em 1650 cm⁻¹ correspondem a grupos aromáticos com ligações C=C ou C=O. Os picos em 1641 e 1654 cm⁻¹ são característicos de C-C aromáticas, além carboxilas conjugadas e cetonas. Os picos em 1100–1060 cm⁻¹ é atribuída a polissacarídeos. A banda de éter e éster aromático está em cerca de 1027 cm⁻¹ e 1041 cm⁻¹.

De acordo com a análise de grupos funcionais por FTIR, em ambas as condições de peneiramento é possível observar a presença de bandas em torno de 1650 cm^{-1} , associada com compostos aromáticos, sem grandes diferenças entre os espectros em cada tratamento (Figuras 16 e 17). Porém, a banda em $1,8\text{ mg}$ parece mais intensa em 1650 cm^{-1} em NP. Com o peneiramento, os espectros aparecem bem similares entre si, além de similar aos espectros de compostos originados na condição NP. Na análise de grupos funcionais realizada por Hu et al. (2011), foi observado ao final da compostagem com dejetos de aves poedeiras e suínos contendo tetraciclinas, bandas de adsorção nessa região correspondente a grupos alifáticos ao final do processo, porém foram diminuindo com o tempo pelas mudanças no conteúdo de sólidos voláteis. Contudo, Vilela et al. (2022) relatam que as banda na faixa entre $1125\text{-}1600\text{ cm}^{-1}$ são produtos resultantes de degradação de matéria-prima ricas de lignina. Neste trabalho não foi utilizado nenhum material como agente de volume, nos trabalhos citados, todos utilizam feno ou maravalha como material inicial da compostagem, talvez essa seja a razão de menores picos nas regiões de $1125\text{ a }1600\text{ cm}^{-1}$.

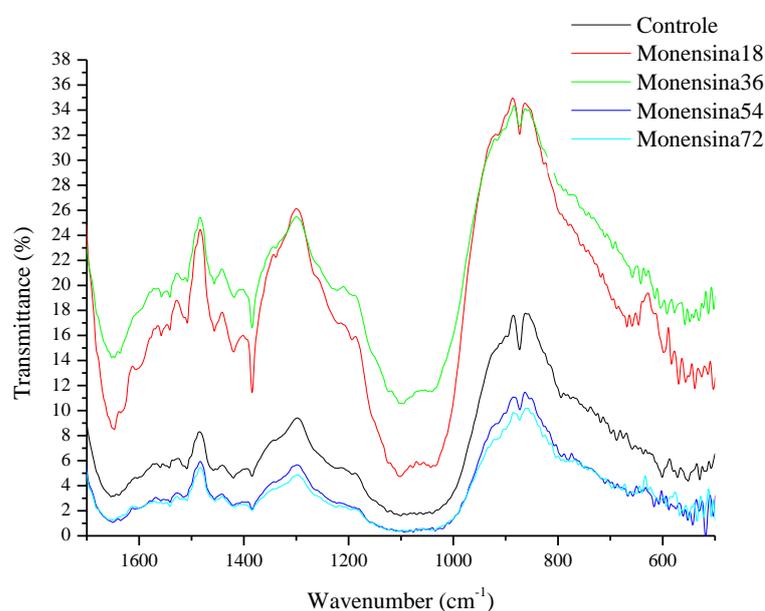


Figura 32: Espectro de FTIR aos 90 dias de compostagem de dejetos bovinos não peneirados.

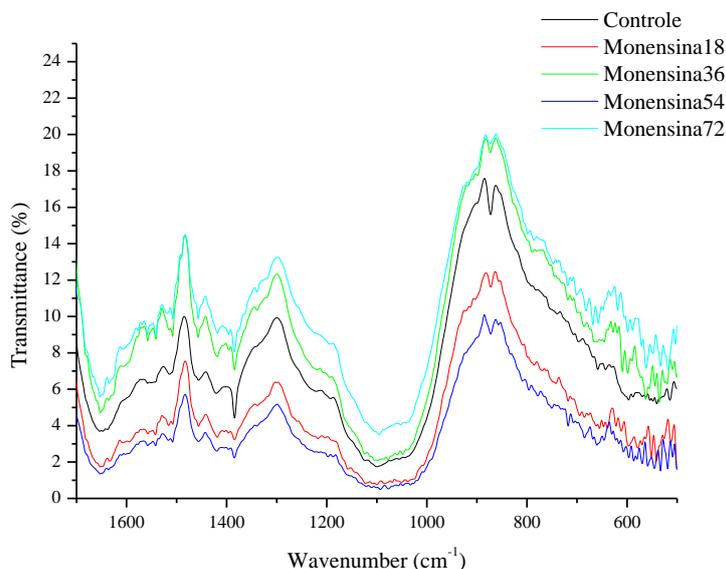


Figura 33: Espectro de FTIR aos 90 dias de compostagem de dejetos bovinos peneirados.

Com o exposto neste trabalho, a presença de monensina nos dejetos pode causar um atraso no processo de compostagem, principalmente nas degradações dos constituintes orgânicos. Porém com o avançar do processo, pode ocorrer a degradação da monensina como demonstrado por vários trabalhos (Arikan et al., 2016; Munaretto et al., 2016; Storteboom et al., 2007). A monensina é mais resistente a degradação que outros ionóforos, como salinomicina e narasina (Sun et al., 2014b), por isso é necessário o manejo mais intensivo e aeração (Munaretto et al., 2016), aumentando a atividade de microrganismos o que podem reduzir as cargas de antibióticos (Fang et al., 2023). Nesse estudo, como as cargas de monensina foram baixas, ao final da compostagem foi possível alcançar altas taxas de degradação e maturação do composto. Talvez, com maiores cargas, o processo poderia ser mais afetado. No entanto, esse foi um dos motivos para uso de baixas doses na alimentação dos animais, pois dessa forma também há menor excreção de ionóforos que podem chegar ao ambiente. O constante manejo e as altas temperaturas alcançadas podem ter sido determinantes para esse resultado.

Com a separação de fração sólido-líquido, os resultados dos parâmetros avaliados não houve grande discrepância em relação com o não peneiramento, talvez menores doses utilizadas. No entanto, esse manejo tem sido recomendado como melhoria no processo

de compostagem e digestão anaeróbia, como um efetivo manejo de resíduos (Czekala et al., 2023; Hafner et al., 2017).

17- CONCLUSÃO

As concentrações de monensina utilizadas nas dietas dos animais não afetaram a qualidade do composto gerado ao final do processo. Também não foi verificada influência do peneiramento sobre o comportamento final da maioria dos parâmetros avaliados durante a compostagem, sendo que para as doses de monensina utilizadas na alimentação dos animais de acordo com essa pesquisa, os substratos para a compostagem podem ser empregados de forma íntegra.

18- REFERÊNCIAS

AGUIRRE-VILLEGAS, H. A.; LARSON, R. A.; SHARARA, M. A. Anaerobic digestion, solid-liquid separation, and drying of dairy manure: Measuring constituents and modeling emission. *Science of the Total Environment*, vol. 696, p. 134059, 2019. DOI 10.1016/j.scitotenv.2019.134059. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134059>.

AGYARKO-MINTAH, E.; COWIE, A.; VAN ZWIETEN, L.; SINGH, B. P.; SMILLIE, R.; HARDEN, S.; FORNASIER, F. Biochar lowers ammonia emission and improves nitrogen retention in poultry litter composting. *Waste Management*, vol. 61, no. May 2016, p. 129–137, 2017. DOI 10.1016/j.wasman.2016.12.009. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2016.12.009>.

APHA. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 23rd ed. Washington DC: American Public Health Association. 2017.

APPUHAMY, J. A. D. R. N.; STRATHE, A. B.; JAYASUNDARA, S.; WAGNER-RIDDLE, C.; DIJKSTRA, J.; FRANCE, J.; KEBREAB, E. Anti-methanogenic effects of monensin in dairy and beef cattle: A meta-analysis. *Journal of Dairy Science*, vol. 96, no. 8, p. 5161–5173, 2013. DOI 10.3168/jds.2012-5923. Available at: <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2012-5923>.

ARIKAN, O. A.; MULBRY, W.; RICE, C. Management of antibiotic residues from agricultural sources: Use of composting to reduce chlortetracycline residues in beef manure from treated animals. *Journal of Hazardous Materials*, vol. 164, no. 2–3, p. 483–489, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.08.019>.

ARIKAN, O. A.; MULBRY, W.; RICE, C. The effect of composting on the persistence of four ionophores in dairy manure and poultry litter. *Waste Management*, vol. 54, p. 110–117, 2016. DOI 10.1016/j.wasman.2016.04.032. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2016.04.032>.

ASSES, N.; FARHAT, A.; CHERIF, S.; HAMDY, M.; BOUALLAGUI, H. Comparative study of sewage sludge co-composting with olive mill wastes or green residues: Process monitoring and agriculture value of the resulting composts. *Process Safety and Environmental Protection*, vol. 114, p. 25–35, 2018. DOI 10.1016/j.psep.2017.12.006. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.psep.2017.12.006>.

BERNAL, M. P.; ALBURQUERQUE, J. A.; MORAL, R. Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. *Bioresource Technology*, vol. 100, no. 22, p. 5444–5453, 2009. DOI 10.1016/j.biortech.2008.11.027. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2008.11.027>.

BRAGOTTO, A. P. A.; SILVA, F. R. N. Ionóforos Poliéteres Na Cadeia Produtiva De Leite E Derivados: Uma Revisão. *Tecnologia de Alimentos: Tópicos Físicos, Químicos e Biológicos - Volume 3*, p. 267–288, 2020. <https://doi.org/10.37885/201001756>.

CZEKAŁA, W.; NOWAK, M.; PIECHOTA, G. Sustainable management and recycling of anaerobic digestate solid fraction by composting: A review. *Bioresource Technology*, vol. 375, no. February, p. 128813, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2023.128813>.

DETMANN, E.; SOUZA, M. A.; VALADARES FILHO, S. C.; QUEIROZ, A. C.; BERCHIELLI, T. T.; SALIBA, E. O. S.; CABRAL, L. S.; PINA, D. S.; LADEIRA, M. M.; AZEVEDO, J. A. G. Métodos para análises de alimentos – INCT – Ciência Animal. Visconde do Rio Branco: Suprema, 214p. 2012.

DOLLIVER, H.; GUPTA, S.; NOLL, S. Antibiotic Degradation during Manure Composting. *Journal of Environmental Quality*, vol. 37, no. 3, p. 1245–1253, 2008. <https://doi.org/10.2134/jeq2007.0399>.

EMBRAPA. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes / editor técnico, Fábio Cesar da Silva. – 2. ed. rev. ampl. – Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009.

EZZARIAI, A.; HAFIDI, M.; KHADRA, A.; AEMIG, Q.; EL FELS, L.; BARRET, M.; MERLINA, G.; PATUREAU, D.; PINELLI, E. Human and veterinary antibiotics during composting of sludge or manure: Global perspectives on persistence, degradation, and resistance genes. *Journal of Hazardous Materials*, vol. 359, no. April, p. 465–481, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.07.092>.

FANG, L.; CHEN, C.; LI, S.; YE, P.; SHI, Y.; SHARMA, G.; SARKAR, B.; SHAHEEN, S. M.; LEE, S. S.; XIAO, R.; CHEN, X. A comprehensive and global evaluation of residual antibiotics in agricultural soils: Accumulation, potential ecological risks, and attenuation strategies. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, vol. 262, no. January, p. 115175, 2023. DOI 10.1016/j.ecoenv.2023.115175. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.115175>.

FILLINGHAM, M. A.; VANDERZAAG, A. C.; BURTT, S.; BALDÉ, H.; NGWABIE, N. M.; SMITH, W.; HAKAMI, A.; WAGNER-RIDDLE, C.; BITTMAN, S.; MACDONALD, D. Greenhouse gas and ammonia emissions from production of compost bedding on a dairy farm. *Waste Management*, vol. 70, p. 45–52, 2017. DOI

10.1016/j.wasman.2017.09.013. Available at:
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.09.013>.

GRANADOS-CHINCHILLA, F.; ARIAS-ANDRÉS, M. de J.; FERNÁNDEZ MONTES DE OCA, M. L.; RODRÍGUEZ, C. Effect of the veterinary ionophore monensin on the structure and activity of a tropical soil bacterial community. *Journal of Environmental Science and Health - Part B Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes*, vol. 55, no. 2, p. 127–134, 2020. DOI 10.1080/03601234.2019.1673612. Available at: <https://doi.org/10.1080/03601234.2019.1673612>.

HAFNER, S. C.; WATANABE, N.; HARTER, T.; BERGAMASCHI, B. A.; PARIKH, S. J. Effects of solid-liquid separation and storage on monensin attenuation in dairy waste management systems. *Journal of Environmental Management*, vol. 190, p. 28–34, 2017. DOI 10.1016/j.jenvman.2016.12.024. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.12.024>.

HU, Z.; LIU, Y.; CHEN, G.; GUI, X.; CHEN, T.; ZHAN, X. Characterization of organic matter degradation during composting of manure-straw mixtures spiked with tetracyclines. *Bioresource Technology*, vol. 102, no. 15, p. 7329–7334, 2011. DOI 10.1016/j.biortech.2011.05.003. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2011.05.003>.

HURST, J. J.; WALLACE, J. S.; AGA, D. S. Method development for the analysis of ionophore antimicrobials in dairy manure to assess removal within a membrane-based treatment system. *Chemosphere*, vol. 197, p. 271–279, 2018. DOI 10.1016/j.chemosphere.2018.01.028. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.01.028>.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – Produção de Leite. 2022. Acesso em: 22/12/2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/leite/br>

ITÄVAARA, M.; VIKMAN, M.; VENELAMPI, O. Windrow composting of biodegradable packaging materials. *Compost Science and Utilization*, vol. 5, no. 2, p. 84–92, 1997. <https://doi.org/10.1080/1065657X.1997.10701877>.

KANG, D. H.; GUPTA, S.; ROSEN, C.; FRITZ, V.; SINGH, A.; CHANDER, Y.; MURRAY, H.; ROHWER, C. Antibiotic uptake by vegetable crops from manure-applied soils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 61, no. 42, p. 9992–10001, 2013. <https://doi.org/10.1021/jf404045m>.

KHAN, N.; CLARK, I.; BOLAN, N.; MEIER, S.; SAINT, C. P.; SÁNCHEZ-MONEDERO, M. A.; SHEA, S.; LEHMANN, J.; QIU, R. Development of a buried bag technique to study biochars incorporated in a compost or composting medium. *Journal of Soils and Sediments*, vol. 17, no. 3, p. 656–664, 2017. DOI 10.1007/s11368-016-1359-8. Available at: <http://dx.doi.org/10.1007/s11368-016-1359-8>.

LEITE, B. K. V.; CAROLINA, A.; ORRICO, A.; ANTONIO, M.; ORRICO, P.; WATTE, A.; RAUL, R.; BORQUIS, A. Use of biochar and crude glycerin as additives in the composting of slaughterhouse waste in static piles. *Renewable Agriculture and Food Systems*, p. 1–10, 2022.

MARTI, E.; GROS, M.; BOY-ROURA, M.; OVEJERO, J.; BUSQUETS, A. M.; COLÓN, J.; PETROVIC, M.; PONSÁ, S. Pharmaceuticals removal in an on-farm pig

slurry treatment plant based on solid-liquid separation and nitrification-denitrification systems. *Waste Management*, vol. 102, p. 412–419, 2020. DOI 10.1016/j.wasman.2019.11.001. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.11.001>.

MUNARETTO, J. S.; YONKOS, L.; AGA, D. S. Transformation of ionophore antimicrobials in poultry litter during pilot-scale composting. *Environmental Pollution*, vol. 212, p. 392–400, 2016. DOI 10.1016/j.envpol.2016.01.066. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2016.01.066>.

OLIVER, J. P.; GOOCH, C. A.; LANSING, S.; SCHUELER, J.; HURST, J. J.; SASSOUBRE, L.; CROSSETTE, E. M.; AGA, D. S. Invited review: Fate of antibiotic residues, antibiotic-resistant bacteria, and antibiotic resistance genes in US dairy manure management systems. *Journal of Dairy Science*, vol. 103, no. 2, p. 1051–1071, 2020. DOI 10.3168/jds.2019-16778. Available at: <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2019-16778>.

ORRICO JUNIOR, M. A. P.; ORRICO, A. C. A.; MANARELLI, D. M.; LOPES, W. R. T.; SCHWINGEL, A. W. Estimated Reduction in Solids During Sheep Bedding Composting as a Function of the Composition of the Organic Fractions. *Compost Science and Utilization*, vol. 26, no. 2, p. 91–97, 2018. DOI 10.1080/1065657X.2017.1379916. Available at: <https://doi.org/10.1080/1065657X.2017.1379916>.

PHIPPS, R. H.; WILKINSON, J. I. D.; JONKER, L. J.; TARRANT, M.; JONES, A. K.; HODGE, A. Effect of monensin on milk production of Holstein-Friesian dairy cows. *Journal of Dairy Science*, vol. 83, no. 12, p. 2789–2794, 2000. DOI 10.3168/jds.S0022-0302(00)75176-9. Available at: [http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(00\)75176-9](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(00)75176-9).

R CORE TEAM: A Language and Environment for Statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2023. <<https://www.R-project.org/>>

RAMASWAMY, J.; PRASHER, S. O.; PATEL, R. M.; HUSSAIN, S. A.; BARRINGTON, S. F. The effect of composting on the degradation of a veterinary pharmaceutical. *Bioresource Technology*, vol. 101, no. 7, p. 2294–2299, 2010. DOI 10.1016/j.biortech.2009.10.089. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2009.10.089>.

SANTOS, F. T. Dos; FEHMBERGER, C.; ALOISIO, C. M.; BAUTITZ, I. R.; HERMES, E. Composting of swine production chain wastes with addition of crude glycerin: organic matter degradation kinetics, functional groups, and carboxylic acids. *Environmental Science and Pollution Research*, p. 1–43, 2021. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14063-6>.

SARMAH, A. K.; MEYER, M. T.; BOXALL, A. B. A. A global perspective on the use, sales, exposure pathways, occurrence, fate and effects of veterinary antibiotics (VAs) in the environment. *Chemosphere*, vol. 65, no. 5, p. 725–759, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2006.03.026>.

SILVA, A. C.; SILVA, V. E.; SILVA, B. P. C.; DE CAMARGO, P. B.; PEREIRA, R. C.; BARRAL, U. M.; BOTELHO, A. M. M.; TORRADO, P. V. Composição lignocelulósica e isotópica da vegetação e da matéria orgânica do solo de uma turfeira tropical. II - Substâncias húmicas e processos de humificação. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*, vol. 37, no. 1, p. 134–144, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000100014>.

STORTEBOOM, H. N.; KIM, S.; DOESKEN, K. C.; CARLSON, K. H.; DAVIS, J. G.; PRUDEN, A. Response of Antibiotics and Resistance Genes to High-Intensity and Low-Intensity Manure Management. *Journal of Environmental Quality*, vol. 36, no. 6, p. 1695–1703, 2007. <https://doi.org/10.2134/jeq2007.0006>.

SUN, P.; CABRERA, M. L.; HUANG, C. H.; PAVLOSTATHIS, S. G. Biodegradation of veterinary ionophore antibiotics in broiler litter and soil microcosms. *Environmental Science and Technology*, vol. 48, no. 5, p. 2724–2731, 2014. <https://doi.org/10.1021/es404619q>.

SUN, P.; PAVLOSTATHIS, S. G.; HUANG, C. H. Photodegradation of veterinary ionophore antibiotics under UV and solar irradiation. *Environmental Science and Technology*, vol. 48, no. 22, p. 13188–13196, 2014. <https://doi.org/10.1021/es5034525>.

SUNADA, N. S.; ORRRICO, A. C. A.; ORRRICO JUNIOR, M. A. P.; CENTURION, S. R.; OLIVEIRA, A. B. M. O.; FERNANDES, A. R. M.; LUCAS JUNIOR, J.; SENO, L. O. Compostagem de resíduo sólido de abatedouro avícola Composting of solid waste from poultry slaughterhouse. *Ciencia Rural*, p. 1–6, 2015. Available at: <http://www.scielo.br/pdf/cr/2014nahead/0103-8478-cr-0103-8478cr20120261.pdf>.

TKACHUK, V. L.; KRAUSE, D. O.; MCALLISTER, T. A.; BUCKLEY, K. E.; REUTER, T.; HENDRICK, S.; OMINSKI, K. H. Assessing the inactivation of mycobacterium avium subsp. paratuberculosis during composting of livestock carcasses. *Applied and Environmental Microbiology*, vol. 79, no. 10, p. 3215–3224, 2013. <https://doi.org/10.1128/AEM.03768-12>.

VALENTE, B.; XAVIER, E.; MORSELLI, T.; JAHNKE, D.; DE BRUM JR, B. S.; CABRERA, B.; DE MORAES, P. O.; LOPES, D. Fatores Que Afetam O Desenvolvimento Da Compostagem De Resíduos Orgânicos Issues Concerning Composting of Organic Residues. *Arch. Zootec*, vol. 58, p. 59–85, 2009.

VAN BOECKEL, T. P.; BROWER, C.; GILBERT, M.; GRENFELL, B. T.; LEVIN, S. A.; ROBINSON, T. P.; TEILLANT, A.; LAXMINARAYAN, R. Global trends in antimicrobial use in food animals. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 112, no. 18, p. 5649–5654, 2015. <https://doi.org/10.1073/pnas.1503141112>.

VAN SOEST, P. J.; ROBERTSON, J. B.; LEWIS, B. A. Methods for Dietary Fiber, Neutral Detergent Fiber, and Nonstarch Polysaccharides in Relation to Animal Nutrition. *Journal of Dairy Science*, vol. 74, no. 10, p. 3583–3597, 1991. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2).

VILELA, R. N. da S.; CAROLINA, A.; ORRICO, A.; ANTONIO, M.; ORRICO, P.; RAUL, R.; BORQUIS, A. Environmental Technology & Innovation Effects of aeration and season on the composting of slaughterhouse waste. *Environmental Technology & Innovation*, vol. 27, p. 102505, 2022. DOI 10.1016/j.eti.2022.102505. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102505>.

WANG, F.; FANG, Y.; WANG, L.; XIANG, H.; CHEN, G.; CHANG, X.; LIU, D.; HE, X.; ZHONG, R. Effects of residual monensin in livestock manure on nitrogen transformation and microbial community during “crop straw feeding-substrate fermentation-mushroom cultivation” recycling system. *Waste Management*, vol. 149, no. June, p. 333–344, 2022. DOI 10.1016/j.wasman.2022.06.015. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2022.06.015>.

XIE, W. Y.; YUAN, Y.; WANG, Y. T.; LIU, D. Y.; SHEN, Q.; ZHAO, F. J. Hazard reduction and persistence of risk of antibiotic resistance during thermophilic composting of animal waste. *Journal of Environmental Management*, vol. 330, no. November 2022, p. 117249, 2023. DOI 10.1016/j.jenvman.2023.117249. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117249>.

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil1. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, vol. 19, no. 13, p. 1467–1476, 1988. <https://doi.org/10.1080/00103628809368027>.

YU, H.; XIE, B.; KHAN, R.; SHEN, G. The changes in carbon, nitrogen components and humic substances during organic-inorganic aerobic co-composting. *Bioresource Technology*, vol. 271, p. 228–235, 2019. DOI 10.1016/j.biortech.2018.09.088. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.09.08>.

