



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

**GLICERINA BRUTA EM CO-DIGESTÃO ANAERÓBIA E CO-
COMPOSTAGEM COM DEJETOS DE POEDEIRAS**

Aldo Felipe Fava

Zootecnista

Dourados - MS

Fevereiro - 2016



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

**GLICERINA BRUTA EM CO-DIGESTÃO ANAERÓBIA E CO-
COMPOSTAGEM COM DEJETOS DE POEDEIRAS**

Aldo Felipe Fava

Zootecnista

Orientadora: Profa. Dra. Ana Carolina Amorim Orrico

Co-orientador: Prof. Dr. Rodrigo Garófallo Garcia

Dissertação apresentada a Universidade Federal da Grande Dourados-UFGD como parte das exigências para obtenção do título de Mestre do Programa de Pós Graduação em Zootecnia

Dourados - MS

Fevereiro - 2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

F272g	<p>Fava, Aldo Felipe. Glicerina bruta em co-digestão anaeróbia e co-compostagem com dejetos de poedeiras. / Aldo Felipe Fava. – Dourados, MS : UFGD, 2016. 44f.</p> <p>Orientadora: Prof. Dra. Ana Carolina Amorim Orrico. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal da Grande Dourados.</p> <p>1. Dejeito de poedeiras. 2. Glicerina bruta. 3. Co-digestão anaeróbia. 4. Co-compostagem. I. Título.</p>
-------	---

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central – UFGD.

©Todos os direitos reservados. Permitido a publicação parcial desde que citada a fonte

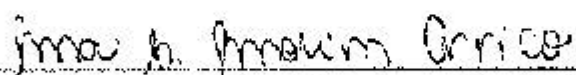
**GLICERINA BRUTA EM CO-DIGESTÃO ANAERÓBIA E CO-COMPOSTAGEM
COM DEJETOS DE POEDEIRAS**

por

ALDO FELIPE FAVA

Dissertação apresentada como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título
de MESTRE EM ZOOTECNIA

Aprovada em: 04/03/2016



Dra. Ana Carolina Amorim Orrico
Orientadora – UFGD/FCA



Dra. Fabiana Ribeiro Caldara
UFGD/FCA



Dr. Jorge de Lucas Junior
UNESP-JABOTICABAL/DER

BIOGRAFIA DO AUTOR

Aldo Felipe Fava: Filho de Maria Evaneide de Jesus Fava e Sidnei da Silva Fava, nasceu em 9 de janeiro de 1990 na cidade de Aquidauana, estado de Mato Grosso do Sul. Ingressou no curso de Zootecnia no ano de 2009 pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, graduando-se no ano de 2013. No início do ano de 2014 foi aprovado no programa de Pós Graduação em Zootecnia da Universidade Federal da Grande Dourados, na área de concentração em Produção Animal, iniciando o curso em março do mesmo ano.

DEDICATÓRIA

Dedico a todos os amigos e familiares que têm convivido comigo nesses anos de trabalho, que contribuem de diferentes formas para as coisas boas que tenho vivido. Especialmente, agradeço meus pais, Maria Evaneide de Jesus Fava e Sidnei da Silva Fava que me apoiaram nos momentos difíceis e comemoraram comigo nos bons. À minha irmã pela força que tem me dado e pela sua participação, compreensão e carinho em vários momentos de minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Maria Evaneide de Jesus Fava e Sidnei da Silva Fava que me apoiaram em todos os momentos dessa jornada, dando conselhos e participando das decisões sempre que necessário.

À minha irmã, Maria Clara Fava que esteve me ajudando desde o começo, sempre que precisei.

Aos companheiros do grupo de pesquisa que participo, com quem fiz amizade e estiveram sempre comigo.

Ao programa de pós graduação em zootecnia da FCA/UFGD e a CAPES pela bolsa de estudos concedida.

À minha professora e orientadora Ana Carolina Amorim Orrico, por toda a dedicação prestada neste período, pelos ensinamentos e pela preocupação com minha formação. Agradeço, além disso, pelo carinho que sempre transmitiu, dando mais força para que eu superasse as dificuldades.

À todos que me ajudaram e participaram de alguma forma da construção deste trabalho.

Obrigado.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS	VI
LISTA DE FIGURAS	VII
RESUMO.....	VIII
ABSTRACT.....	IX
CAPÍTULO 1. GLICERINA BRUTA EM CO-DIGESTÃO ANAERÓBIA E CO- COMPOSTAGEM COM DEJETOS DE POEDEIRAS.....	1
1. Considerações iniciais	1
2. Revisão de literatura	2
2.1. Produção dos dejetos de poedeiras e glicerina bruta.....	2
2.2. Compostagem	3
2.3. Co-digestão anaeróbia	6
3. Objetivos	7
3.1. Objetivo geral	7
3.2. Objetivo específico	8
4. Referências bibliográficas	9
CAPÍTULO 2. GLICERINA BRUTA EM CO-COMPOSTAGEM COM OS DEJETOS DE POEDEIRAS ELEVA AS REDUÇÕES DE SÓLIDOS E OS TEORES DE N NO COMPOSTO	12
Resumo.....	13
Abstract.....	14
1. Introdução.....	15
2. Material e Métodos	16
3. Resultados e Discussão	19

4. Conclusões	25
5. Agradecimentos	25
6. Referências Bibliográficas	25
CAPÍTULO 3. CO-DIGESTÃO DE DEJETOS DE GALINHAS POEDEIRAS E GLICERINA BRUTA: PRODUÇÕES ESPECÍFICAS DE BIOGÁS E METANO E REDUÇÕES DE CONSTITUINTES POLUENTES	31
Resumo.....	32
Abstract.....	33
1. Introdução.....	34
2. Material e Métodos	35
3. Resultados e Discussão	37
4. Conclusões	41
5. Agradecimentos	41
6. Referências Bibliográficas	41
CONSIDERAÇÕES FINAIS	45

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2. GLICERINA BRUTA EM CO-COMPOSTAGEM COM OS DEJETOS DE POEDEIRAS ELEVA AS REDUÇÕES DE SÓLIDOS E OS TEORES DE N NO COMPOSTO.....12

Tabela 1. Números mais prováveis (NMP/100 g material) de coliformes totais e termotolerantes e reduções durante a compostagem de dejetos de galinhas poedeiras com inclusão de níveis crescentes de glicerina bruta.....27

CAPÍTULO 3. CO-DIGESTÃO DE DEJETOS DE GALINHAS POEDEIRAS E GLICERINA BRUTA: PRODUÇÕES ESPECÍFICAS DE BIOGÁS E METANO E REDUÇÕES DE CONSTITUINTES SÓLIDOS.....31

Tabela 1. Modelos de regressão, seguidos de R^2 , P e CV, para as reduções de ST, SV e DQO, bem como as produções específicas de biogás e metano obtidos durante a co-digestão de substratos preparados com dejetos de galinhas poedeiras acrescidos de doses crescentes de glicerina bruta.....43

LISTA DE FIGURAS

Página

CAPÍTULO 2. GLICERINA BRUTA EM CO-COMPOSTAGEM COM OS DEJETOS DE POEDEIRAS ELEVA AS REDUÇÕES DE SÓLIDOS E OS TEORES DE N NO COMPOSTO.....12

FIGURA 1. Temperaturas médias semanais durante a compostagem de dejetos de poedeiras e níveis crescentes de inclusão de glicerina bruta.....27

FIGURA 2. Valores de pH inicial e final durante a compostagem dos dejetos de poedeiras e níveis crescentes de inclusão de glicerina bruta.....28

FIGURA 3. Reduções de ST e SV durante a compostagem de dejetos de poedeiras e níveis crescentes de inclusão de glicerina bruta.....28

FIGURA 4.Reduções de carbono, nitrogênio e da relação C:N durante a compostagem dos dejetos de poedeiras e níveis crescentes de inclusão de glicerina bruta.....29

FIGURA 5.Teores de N (%) no material inicial e final da compostagem dos dejetos de poedeiras e níveis crescentes de inclusão de glicerina bruta.....29

FIGURA 6. Reduções da matéria orgânica compostável (MOC), matéria orgânica resistente à compostagem (MORC) e da demanda química de oxigênio DQO) a compostagem dos dejetos de poedeiras e níveis crescentes de inclusão de glicerina bruta.....30

CAPÍTULO 3. CO-DIGESTÃO DE DEJETOS DE GALINHAS POEDEIRAS E GLICERINA BRUTA: PRODUÇÕES ESPECÍFICAS DE BIOGÁS E METANO E REDUÇÕES DE CONSTITUINTES SÓLIDOS.....31

FIGURA 1. Representação esquemática de biodigestor batelada de bancada.....42

- FIGURA 2. Reduções (%) de ST, SV e DQO durante a co-digestão de dejetos de galinhas poedeiras e doses crescentes de inclusão de glicerina bruta.....43
- FIGURA 3. Produções específicas de biogás (em L.kg⁻¹) por ST e SV adicionados durante o processo de co-digestão de dejetos de galinhas poedeiras e doses crescentes de inclusão de glicerina bruta.....44
- FIGURA 4. Produções específicas de metano (em L.kg⁻¹) por ST e SV adicionados durante o processo de co-digestão de dejetos de galinhas poedeiras e doses crescentes de inclusão de glicerina bruta.....44

RESUMO

FAVA, A.F. **Glicerina Bruta em Co-digestão Anaeróbia e Co-compostagem com Dejetos de Poedeiras**. 2016 Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Grande Dourados, 2016.

O Brasil é o sexto maior produtor de ovos do mundo. O centro-oeste é a segunda região que mais aumentou a produção de ovos no país entre 2002 e 2011. O biocombustível também tem sido produzido de forma crescente no Brasil devido a incentivos do governo, sendo este incluído em 7% do diesel consumido no país. Ganha importância neste cenário a região centro-oeste, que é a maior produtora de oleaginosas, insumo para a produção de biodiesel. Ambas produções citadas geram resíduos altamente poluentes: dejetos e glicerina bruta. A co-digestão anaeróbia e a co-compostagem são técnicas que permitem utilizar os resíduos em associação de modo a se elevarem as reduções de sólidos e produções de biogás e metano na biodigestão; e reduções de sólidos e mineralização (em especial do nitrogênio) na compostagem. O objetivo deste estudo foi avaliar o uso de doses crescentes de glicerina na compostagem e glicerol (glicerina sem as impurezas) na biodigestão anaeróbia. O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado. Na co-compostagem avaliou-se níveis de glicerina bruta de: 0, 3, 6, 9 e 12% e na co-digestão foram avaliados níveis de glicerol aos dejetos em 0, 1, 2, 3 e 4%. Foi observado comportamento quadrático na inclusão de glicerina a co-compostagem, aumentando-se, a partir de seu acréscimo, as reduções de ST, SV e a retenção de N, com nível ideal em 5,6%. Também foi observado comportamento quadrático na co-digestão, com reduções nos ST, SV e DQO e, aumentos na produção de biogás e metano, apresentando nível ideal de inclusão do glicerol para estes em 2,6%. O acréscimo de até 5,6% de glicerina bruta na compostagem e de 2,6% de glicerol na digestão anaeróbia, potencializa, na compostagem, a degradação e melhora as características do composto e; na biodigestão, eleva as degradações e potencializa as produções de biogás e metano.

Palavras-chave: co-digestão, co-compostagem, dejetos de poedeiras, glicerina bruta.

ABSTRACT

FAVA, A.F. **Crude glycerin in co-anaerobic digestion and co-composting of laying hens**. 2016 Thesis (M.Sc.)- Faculty of Agricultural Sciences, Federal University on the Grande Dourados, 2016.

Brasil is sixth largest egg producer in the world. The midwest region showed the second largest growth in the country between 2002 and 2011. Biofuel has been produced increasingly due to government incentives. 7% of It is included in the fuel consumed. Receive importance in this scenario midwest region of the country, that is largest oleaginous producer, the input for biofuel production. Both productions generate highly polluting waste: manure and crude glycerin. Co-anaerobic digestion and co-composting are techniques that allows to use waste in association, reducing solids and biofuel and methane yield in biodigestion, and solid reduction and minaralization (special to azote) to composting. The aim of this study was to evaluate use of increasing doses og glycerin on composting and glycerol on anaerobic digestion. The experiment was conducted in a completely randomized design on composting assessing levels og glycerin: 0, 3, 6, 9 and 12%, and co-digestion was: 0, 1, 2, 3 and 4% of glycerol. Was observed quadratically variation in inclusion of glycerin on composting, increasing up total solids, volatile solids and nitrogen retention, reaching optimal level at 5,6%. It Was also observed quadratically varioation on biodigestion, with reductions in total solids, volatile solids and chemical oxygen demand, and increases the yeld of biogas and methane, with optimal level in 2,6% for these. Adding up to 5,6% of crudde glycerin on composting and 2,6 on biodigestion, up leverage degradation and improves the characteristics of compound on composting; and increase degradations, biogás and methane yeld on biodigestion.

Key-word: co-digestion, co-composting, Laying waste , crude glycerin

CAPÍTULO 1. GLICERINA BRUTA EM CO-DIGESTÃO ANAERÓBIA E CO-COMPOSTAGEM COM DEJETOS DE POEDEIRAS

1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O setor de avicultura tem sido de grande importância para a economia brasileira devido ao aumento contínuo dos números de aves de postura no país, que, segundo dados da FAO (2012) já ocupa a sétima posição em produção de ovos. Com isso, tem-se buscado a adequada destinação dos dejetos gerados com a criação das aves, que possuem elevados conteúdos de material orgânico, N e P, sobretudo em virtude da alimentação dos animais, resultando assim em resíduos com elevada capacidade de contaminação ambiental.

Outro material produzido em larga escala e que pode causar danos ao meio ambiente é a glicerina bruta, um resíduo da produção de biodiesel. A geração deste resíduo foi aumentada nos últimos anos devido ao incentivo da utilização de biodiesel no país, sendo que atualmente, de acordo com a ANP (2015) a recomendação é de 7% de inclusão do biodiesel nos combustíveis produzidos, gerando-se assim maior excedente de glicerina. O uso da glicerina contempla indústrias alimentícias e farmacêuticas, principalmente, no entanto, para que as demandas destes setores sejam atendidas, a glicerina bruta deve apresentar grau mínimo de pureza de 40% de glicerol em sua composição, devendo na maioria das vezes alcançar 80% de pureza.

As indústrias de biodiesel do Brasil são responsáveis pela geração de glicerina bruta com baixos teores de glicerol, sendo que a caracterização realizada por Silva et al. (2013) aponta como média nacional o teor de 74,4% de glicerol, valor este inferior ao requerido pelo MAPA para a maioria das utilizações, que é de 80% de glicerol.

Estudos recentes tem considerado a compostagem e a biodigestão dos dejetos de animais em associação com glicerina bruta como opções que favorecem a redução de constituintes orgânicos: melhoram a qualidade do composto final quando na compostagem; melhoram a qualidade dos fertilizantes orgânicos e aumentam as produções de biogás e metano, quando na biodigestão anaeróbia, contudo, são poucos os estudos conduzidos no país, mesmo havendo demanda. Levando-se em consideração as condições brasileiras atuais (clima tropical, dejetos de animais em condições específicas de criação, altas produções de glicerina bruta e sistemas de reciclagem de resíduos com baixa tecnologia), dados gerados através destes estudos podem reduzir os possíveis problemas ambientais e fornecer a forma mais adequada de reciclagem.

Portanto, a proposta neste trabalho foi encontrar as doses ideais de inclusão de glicerina bruta, em associação com os dejetos de galinhas poedeiras, com o objetivo de

maximizar as reduções de constituintes sólidos e material orgânico para ambos os sistemas de tratamento (compostagem e biodigestão anaeróbia), bem como aumentar as produções de biogás e metano quando utilizada apenas a biodigestão.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Produção dos dejetos de poedeiras e glicerina bruta

O Brasil é o sétimo maior produtor mundial de ovos segundo dados da FAO (2012), sendo a região Centro-Oeste responsável por 11,51% da produção nacional, com crescimento de 85,78%, destacando-se como a segunda região do país que mais cresceu entre os anos de 2002 a 2011 (SEAB, 2013).

Comumente, distinguem-se dois sistemas de produção na avicultura: o de gaiolas sobrepostas, com a coleta mecânica dos dejetos e o convencional, onde os dejetos ficam acumulados por longos períodos de tempo. Segundo Augusto e Kunz (2011) no sistema convencional coletam-se os dejetos mais secos, com elevada umidade, em menor quantidade e estágio de decomposição avançado, além da presença de micro-organismos patogênicos, que elevam a capacidade de contaminação ambiental por este resíduo. Estas diferenças se dão pelo fato de que no sistema convencional, o material fica acumulado sob as gaiolas se decompondo até sua coleta, já no automatizado esta coleta é instantânea e o manejo diário.

As quantidades de dejetos excretadas pelas aves, segundo Augusto (2007) são de 100 gramas ao dia por animal. Considerando os dados do ANUALPEC (2012) foram alojadas 85.546 milhões de cabeças, estimando-se assim uma produção média de 8.554.600 toneladas de dejetos ao dia. Em virtude destas quantidades e das características deste resíduo, se faz necessária a utilização de sistemas adequados de tratamento e disposição, que possam reduzir custos e impactos ambientais gerados na produção (SOUZA et al., 2013).

Assim como o dejetos de poedeiras, a glicerina bruta é um resíduo que causa impactos ao meio ambiente e que vem sendo produzida de forma crescente, sendo esta, resultado do processo de obtenção do biodiesel. A produção de biodiesel tem aumentado nos últimos anos devido à demanda por alternativas na produção de combustíveis, destacando-se a região Centro-Oeste como a maior produtora do país (ABREU et al., 2016). Este combustível é uma fonte de energia renovável importante para o Brasil, uma

vez que é derivado de óleos vegetais e o país produz grande quantidade de soja e outras oleaginosas.

Segundo dados publicados pela ANP (2015) a produção nacional de biodiesel foi de 3,42 bilhões de litros em 2014, estimando-se assim uma produção de 342 milhões de litros de glicerina, já que 10% de todo o volume de biodiesel gerado é representado pela glicerina residual. Esta glicerina apresenta alguns resíduos que dificultam o seu uso para fins comerciais, havendo necessidade de purificação ou descarte de forma ordenada (VENDRUSCOLO et al., 2013). Em estudo realizado por Silva et al. (2013) verificou-se que apenas 36,8% da produção das usinas estaria de acordo com os parâmetros estabelecidos pelo Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento, que preconiza teores de umidade e glicerol, sendo estes de no mínimo 80% para o glicerol e máximo de 13% para a umidade. Além disso, os autores detectaram níveis elevados de lipídeos e resíduos de NaOH, que podem dificultar e limitar a utilização deste resíduo.

A utilização dos dejetos de animais em associação com a glicerina bruta é uma técnica que vem sendo explorada atualmente nos processos de tratamento e reciclagem energética de nutrientes destes resíduos. Muitos autores, como mencionado por Mata-Alvarez et al. (2014) demonstram os benefícios da digestão conjunta, com diversas vantagens para a co-digestão anaeróbia e a compostagem. No entanto, para as condições climáticas do Brasil e também da baixa tecnologia envolvida nos processos de reciclagem, além das impurezas contidas na glicerina bruta gerada nestas condições, os resultados de pesquisa são mínimos e necessitam de estudos para que as técnicas de tratamento destes resíduos possam beneficiar os produtores rurais, as agroindústrias e gerar condições de descarte aos produtos finais destes processos (fertilizantes orgânicos e biogás).

2.2 Compostagem

A compostagem é uma técnica amplamente aplicada para a reciclagem de resíduos orgânicos, que assegura a estabilização da matéria orgânica e a reciclagem do material (JINDO et al., 2012). Esta tecnologia de tratamento baseia-se na transformação biológica dos resíduos orgânicos em condições aeróbias, por meio da ação de micro-organismos específicos para se obter como produto final o composto orgânico (KIEHL, 2002). Este processo se dá em duas fases: a termofílica (45 a 65 °C) onde ocorrem reações bioquímicas intensas com consequente degradação e higienização do material e a fase de

maturação ou cura, caracterizada pela humificação e mineralização do material, segundo Orrico et al. (2007) tornando-o assim, pronto para o uso como fertilizante orgânico.

Por se tratar de um mecanismo biológico de tratamento, este necessita que algumas características sejam atendidas para determinar sua eficiência, entre estas: temperatura, umidade, aeração, pH, tipo de compostos orgânicos, relação carbono/nitrogênio (C/N), granulometria do material e dimensões das leiras (VALENTE et al., 2009). Entre estes parâmetros mencionados, a quantidade de nutrientes disponível para os micro-organismos do meio pode ser considerada uma das mais importantes, já que o atendimento da demanda de nutrientes irá resultar na eficiência do processo de degradação do material em tratamento.

O ajuste da relação C:N foi mencionado por Sasaki et al. (2013) como essencial para que não ocorram limitações nas taxas de degradação do material orgânico, sendo que neste trabalho os autores avaliaram relações C:N no intervalo de 5 até 80:1. Foram verificadas que as baixas relações de C:N, entre 5 e 15:1, limitaram o substrato energético disponível para a ação dos micro-organismos e assim diminuíram a eficiência de degradação do material orgânico das leiras, com elevada perda de amônia; Já as relações elevadas, acima de 50:1 apresentaram baixa disponibilidade de N, limitando a atividade microbiana e resultando na ineficiência de degradação dos resíduos em compostagem. Os melhores resultados foram obtidos com relações entre 20 e 40:1.

Os benefícios do ajuste da relação C:N foram mencionados por Augusto (2007) ao testarem a inclusão de fontes carbonáceas aos dejetos de poedeiras, verificando maiores alcances de temperatura e das reduções de sólidos quando associaram aos dejetos a serragem e o bagaço de cana. No entanto, apesar das vantagens relacionadas ao ajuste da proporção C:N, e da inclusão de uma fonte de C aos dejetos de poedeiras, também é desejável que esta fonte de C possua uma facilidade de degradação semelhante a dos dejetos de poedeiras. Estes dejetos são facilmente degradáveis, pois representam os constituintes fornecidos nas dietas das aves, que na sua maioria são milho e soja, o que resulta em baixas concentrações de fibras, que poderiam limitar a degradação deste resíduo. Além da elevada facilidade para a degradação do material orgânico, as quantidades de N e P excretadas pelas aves serão importantes para o ajuste das misturas em compostagem e atendimento das demandas dos micro-organismos presentes no meio, melhorando também a quantidade dos nutrientes presente no composto. Sendo assim, a

inclusão da glicerina bruta aos dejetos de poedeiras seria uma alternativa interessante para ajuste dos nutrientes necessários ao meio em digestão, permitindo melhor sincronia da velocidade de degradação entre os resíduos e resultando em maiores reduções dos constituintes orgânicos, e portanto poluentes, além de melhor qualidade do fertilizante orgânico produzido.

Contudo, quando a glicerina bruta é adicionada à composição das leiras, devem ser consideradas as impurezas que podem estar presentes na sua composição, sendo os lipídeos um dos componentes de maior preocupação, já que podem representar uma importante parcela entre os demais constituintes. Baeta-Hall et al. (2005) observaram atraso do início da fase termofílica durante a compostagem de leiras contendo níveis de lipídeos de 8%, quando realizaram a inclusão de cascas de oliva como parcela dos substratos, sendo que nestas condições as temperaturas mais elevadas ocorreram somente aos 13 dias, comportamento relacionado com o aumento da relação C:N em virtude da inclusão das cascas de oliva. Os autores ainda relataram como efeito indesejável pela inclusão de lipídeo a maior compactação da massa em compostagem, com comprometimento da aeração no interior das pilhas.

Um dos principais problemas inerentes ao processo de compostagem são as perdas significativas de nitrogênio. O nitrogênio das fezes é prontamente convertido em amônia pelos micro-organismos, posteriormente, a amônia é convertida em nitrito e nitrato e, o nitrato pode ser convertido em óxido nitroso ou outros gases que se perdem para atmosfera, reduzindo o teor de nitrogênio e, conseqüentemente, reduzindo o valor industrial do composto (XIE et al., 2012). Estas perdas ocorrem, principalmente, pela ação de bactérias anaeróbicas facultativas que, na ausência de fontes de carbono utilizam os óxidos de nitrogênio como aceptores de elétrons, resultando na produção de N_2O , NO e N_2 .

Com a inclusão de uma fonte com elevados teores de carbono e, estes, altamente disponíveis para utilização pelas bactérias envolvidas no processo de compostagem, espera-se que se reduza a utilização de moléculas contendo nitrogênio (amônia, nitrito e nitrato) como fonte aceptora de elétrons, acarretando, deste modo, em menores perdas de nitrogênio, conseqüentemente, um produto final de maior valor para agricultura.

Os possíveis benefícios resultantes pela inclusão de glicerina bruta aos dejetos de poedeiras durante a compostagem foram contemplados na concepção deste trabalho, pois

diversos resultados de pesquisas já realizadas apontam neste caminho. O diferencial deste trabalho é a proposta de encontrar a melhor dose de inclusão da glicerina bruta nas massas em compostagem.

2.3 Co-digestão anaeróbia

A biodigestão anaeróbia é uma técnica amplamente empregada para o tratamento e reciclagem dos dejetos gerados na produção animal, que resulta na estabilização da matéria orgânica e formação de metano e dióxido de carbono como componentes principais do biogás proveniente da fermentação. Os rendimentos de biogás a partir da digestão anaeróbia podem variar principalmente em função da qualidade do resíduo adicionado ao biodigestor, grau de diluição e tempo de retenção, principalmente (XAVIER e LUCAS JUNIOR, 2010). No entanto, outros fatores também podem contribuir para oscilações nestes rendimentos, como a adição de um substrato que complemente a composição dos dejetos (HIDALGO e MARTIN-MARROQUÍN, 2014).

A co-digestão anaeróbia consiste na junção de dois ou mais resíduos, que resultarão em substratos com melhores condições de degradação quando em comparação com a digestão isolada dos materiais de origem. Muitos autores mencionam que a co-digestão, que pode ser realizada a partir de inúmeras combinações, como dos dejetos de bovinos leiteiros com resíduos urbanos de coleta municipal (Macias-Corral et. al., 2008), ou dos resíduos de frutas e aves (Callaghan et al., 2002) ou ainda, do efluente de abatedouro avícola e resíduos de frutas (Alvarez e Liden, 2008), pode não só incrementar os rendimentos de biogás e metano, mas também resultar na diminuição do tempo de retenção dos substratos.

A digestão isolada dos dejetos de poedeiras foi realizada por Farias et al. (2012) alcançando-se a produção de 384,8 litros de biogás por kg de SV adicionado. Este potencial pode ser considerado elevado quando comparado aos alcançados com a digestão dos dejetos de ruminantes, no entanto, buscando-se a maior lucratividade das unidades produtoras seria vantajoso o aumento destas quantidades.

Em experimento realizado por Sanderson (2013) utilizando dejetos de suínos em associação a diferentes níveis de inclusão de glicerina bruta durante o processo de co-digestão, verificou-se que a inclusão de até 5% de glicerina possibilitou o incremento na produção de biogás e metano, bem como uma maior redução de sólidos, sendo que em

níveis superiores a este o autor observou inibição do processo. Este comportamento pode ser atribuído ao conteúdo de glicerol nos substratos em digestão, além das quantidades de impurezas presentes na glicerina, que poderão atuar como limitantes, mesmo que o teor de glicerol não tenha atingido níveis excessivos no meio.

Utilizando glicerina com conteúdos medianos de glicerol (39,3%), Orrico Júnior e Orrico (2015) realizaram a co-digestão com os dejetos de ovinos e obtiveram resultados expressivos das produções de biogás (421,05 L/kg de sólidos voláteis adicionado) até o nível máximo de inclusão, que foi de 15%, além de proporção de metano no biogás de 83,2%, dados considerados superiores até mesmo a trabalhos como o de Farias et al. (2012) com digestão de dejetos de poedeiras isoladamente.

Neste trabalho realizado por Orrico Junior e Orrico (2015) não foram encontradas limitações para a inclusão da glicerina, no entanto em estudo conduzido por Athanasoulia et al. (2014) foi realizada a co-digestão de lodo de esgoto e glicerol nas concentrações de 0, 2, 3 e 4% (volume) e foram relatadas condições limitantes para o emprego do glicerol. Foram verificados aumentos imediatos nas produções de biogás a partir do acréscimo de glicerol, no entanto, sem condição de estabilização dos biodigestores, ou seja, logo foram observadas reduções de pH e das produções de biogás. O aumento inicial de biogás foi creditado ao aproveitamento da DQO (demanda química de oxigênio) solúvel nos substratos, ocasionada pela inclusão de glicerol, que como consequência gerou ácidos graxos voláteis em elevadas concentrações e assim comprometeu a atividade metanogênica.

Os resultados de pesquisa disponíveis sobre produção de biogás e metano refletem recomendações e condições de operações distintas, e ainda, podem não corresponder às condições de trabalho que seriam rotineiras no Brasil, onde usualmente encontram-se biodigestores de baixa tecnologia (sem aquecimento ou agitação, como relatado na maioria dos estudos) e glicerina com conteúdos elevados de contaminantes.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Encontrar as doses ideais de inclusão de glicerina bruta aos dejetos de poedeiras com intuito de maximizar as degradações de sólidos durante a compostagem e

biodigestão, bem como incrementar as produções de biogás e metano durante a co-digestão anaeróbia destes resíduos.

3.2. Objetivos Específicos

- Avaliar os benefícios da inclusão de doses (0, 3, 6, 9 e 12% em relação aos ST do substrato) de glicerina bruta sobre as reduções de sólidos, coliformes e massa, bem como a qualidade do composto orgânico (teores de N e C) durante a compostagem de dejetos de aves de postura;
- Avaliar os benefícios da inclusão de doses (0, 1, 2, 3, 4% em relação aos ST do substrato) de glicerol em substratos preparados com os dejetos de poedeiras sobre as produções específicas de biogás, produções de metano, reduções de sólidos, coliformes e DQO durante a biodigestão anaeróbia.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, V.Y.; OLIVEIRA, H.R.; LEAL, J.E.C. Biodiesel no Brasil em Três Hiatos: Selo Combustível Social, Empresas e Leilões. 2005 a 2012. Tradução. Málaga: eumed.net. Universidad de Málaga, 2016. p.213.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS- ANP. **Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis**. 236p. Rio de Janeiro - RJ, 2015.

ALVAREZ, R.; LIDEN, G. Semicontinuous co-digestion of solid slaughterhouse waste, manure, and fruit and vegetable waste. **Renewable Energy**, v.33, n.4, p.726-734, 2008.

ANUÁRIO DA PECUÁRIA BRASILEIRA- ANUALPEC. FNP- **Consultoria e agroinformativos**, 2012.

ATHANASOULIA, E.; MELIDIS, P.; AIVASIDIS, A. Co-digestion of sewage sludge and crude glycerol from biodiesel production. **Renewable Energy**, v.62, p.73-78, 2014.

AUGUSTO, J.C.P.; KUNZ, A. Tratamento de dejetos de aves poedeiras comerciais. **In: PALHARES, J.C.P.; KUNZ, A. Manejo ambiental na avicultura**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2011. p.153-174.

BAETA-HALL, L. et al. Bio-degradation of olive oil husks in composting aerated piles. **Bioresource Technology**, v.96, n.1, p.69-78, 2005.

CALLAGHAN, F.J. et al. Continuous co-digestion of cattle slurry with fruit and vegetable wastes and chicken manure. **Biomass and Bioenergy**, v.22, n.1, p.71-77, 2002.

FARIAS, R.M. et al. Biodigestão anaeróbia de dejetos de poedeiras coletados após diferentes períodos de acúmulo. **Ciência Rural**, v.42, n.6, p.1089-1094, 2012.

HIDALGO, D.; MARTIN-MARROQUÍN, J.M. Effects of inoculum source and co-digestion strategies on anaerobic digestion of residues generated in the treatment of waste vegetable oils. **Journal of Environmental Management**, v.142, p. 17-22, 2014.

JINDO, K. et al. Biochar influences the microbial community structure during manure composting with agricultural wastes. **Science of the Total Environment**, v.416, p.476-481, 2012.

KIEHL, E.J. **Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto**. 4.ed. São Paulo: Agronômica Ceres, p.171, 2002.

MACIAS-CORRAL, M. et al. Anaerobic digestion of municipal solid waste and agricultural waste and the effect of co-digestion with dairy cow manure. **Bioresource Technology**, v. 99, n. 17, p. 8288-8293, 2008.

MATA-ALVAREZ, J. et al. A critical review on anaerobic co-digestion achievements between 2010 and 2013. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.36, p.412-427, 2014.

Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura - FAO. **Anuário estatístico**, 2012.

ORRICO JUNIOR, M.A.P.; ORRICO, A.C.A. Quantification, characterization, and anaerobic digestion of sheep manure: the influence of diet and addition of crude glycerin. **Environmental Progress & Sustainable Energy**, v.34, n.4, p.1038-1043, 2015.

ORRICO, A. C. A. et al. Alterações físicas e microbiológicas durante a compostagem dos dejetos de cabras. **Engenharia Agrícola**, v.27, n.3, p.764-772, 2007.

SANDERSON, K. **Avaliação da eficiência da glicerina bruta, proveniente da produção do biodiesel, na obtenção de biogás em co-digestão com dejetos suínos**. 61f. Dissertação. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2013.

SASAKI, N. et al. Effects of C/N Ratio and pH of Raw Materials on Oil Degradation Efficiency in a Composti Fermentation Process. **Journal of Bioscience and Bioengineerin**, v.96, n.1, p.47-52, 2013.

Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento –SEAB. **Análise de conjuntura agropecuária: avicultura de postura**, 2013.

SILVA, J. et al. Composição química da glicerina produzida por usinas de biodiesel no Brasil e potencial de uso na alimentação animal. **Ciência Rural**, v.43, n.3, p. 509-512, 2013.

SOUZA, C.S. et al. Suplemento de 1,25- dihidroxicolecalciferol e redução de cálcio e fósforo disponível para frangos de corte. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.65, n.2, 2013.

VALENTE, B.S. et al. Fatores que afetam o desenvolvimento da compostagem de resíduos orgânicos. **Archivos de Zootecnia**, p.59-85, 2009.

VENDRUSCULO, T.P.S. et al. **Glicerina: uma visão geral sobre a produção e métodos de purificação**. BIOCOM. Anais do 6º Simpósio Nacional de Biocombustíveis (BIOCOM). Canoas: 2013. Acesso em 18 out. 2015.

VON ZUBEN AUGUSTO, K. **Caracterização quantitativa e qualitativa dos resíduos em sistemas de produção de ovos: compostagem e biodigestão anaeróbia**. 2007. 131f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia). Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita”, Jaboticabal.

XAVIER, C.A.N; LUCAS JUNIOR, J. Parâmetros de dimensionamento para biodigestores batelada operados com dejetos de vacas leiteiras com e sem uso de inóculo. **Engenharia Agrícola**, v.30, n.2, 2010.

XIE, K. et al. Improved composting of poultry feces via supplementation with ammonia oxidizing archaea. **Bioresource Technology**, v.120, p.70-77, 2012.

**CAPÍTULO 2. Glicerina bruta em co-compostagem com os dejetos de poedeiras
eleva as reduções de sólidos e reduz as perdas de N**

Capítulo redigido segundo as normas do Journal Waste Management and Research

Glicerina bruta em co-compostagem com os dejetos de poedeiras eleva as reduções de sólidos e os teores de N no composto

Resumo: Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar diferentes doses de glicerina bruta em co-compostagem com dejetos de poedeiras, sobre o processo de degradação dos resíduos. Adotaram-se delineamento inteiramente casualizado, sendo os tratamentos experimentais definidos pelos níveis de adição de glicerina bruta (0, 3, 6, 9 e 12% em relação a massa fresca enleirada) aos dejetos de poedeiras e constando de 6 repetições (leiras). Durante o período experimental (70 dias) foram acompanhadas as massas enleiradas, o pH, teores de sólidos totais (ST), sólidos voláteis (SV), carbono (C) e seu fracionamento, além dos números mais prováveis (NMP) de coliformes totais e termotolerantes e teores de N. As reduções dos NMP de coliformes totais e termotolerantes foram de 100% em todos os níveis de glicerina. As máximas reduções de ST e SV ocorreram com a inclusão de 5,7% de glicerina bruta, atingindo valores de 64,4 e 75,8%, respectivamente. A glicerina bruta foi eficiente na retenção de N durante a compostagem, sendo que as leiras sem glicerina apresentaram as maiores perdas durante o processo (32,1%). O máximo teor de N no composto ocorreu com a dose de 5,82% de glicerina bruta, alcançando a concentração de 4,72% de N, enquanto que no composto que não recebeu glicerina bruta este valor de 3,47% (36% inferior). As máximas reduções de C e da relação C:N ocorreram com a adição de 6,3 e 6,8% de glicerina bruta, atingindo 76,6 e 68,3%, respectivamente. A inclusão de 5,7% de glicerina bruta aos dejetos de poedeiras em co-compostagem eleva ao máximo as reduções de ST e SV e permite maior retenção de N.

Palavras chave: amônia, leiras, sólidos totais, sólidos voláteis

Crude Glycerin co-composting with laying waste raises solids reductions and N content in the compound

Abstract: This study was developed aiming to evaluate different doses of crude glycerin co-composting waste of laying hens on the degradation process of wastes. Were adopted completely randomized design, with experimental treatments defined by levels of crude glycerin additions (0, 3, 6, 9 and 12%, relative to mass composted) to laying waste and 5 repetitions. During the trial period (70 days) were followed the mass of windrows, pH, total solid (ST), volatile solid (SV), carbon and its fractionation, most probable number (NMP) of total and fecal coliforms, and nitrogen content. The reductions of NMP of total coliforms and thermotolerant were 100% in all of glycerin levels. The maximum reductions of ST and SV happened in level 5,7% of crude glycerin, reaching reductions of 64,4 and 75,8, respectively. The crude glycerin was efficient in N retaining during composting, the treatment without glycerin showed the greatest loss (32,1%). The higher nitrogen content happened with dose of 5,82%, reaching concentration of 4,72%, while the compound without crude glycerin this value was of 3,47% (36% below). The most reductions of C and relationship C:N happened with addition of 6,3 and 6,8 of crude glycerin, reaching 76,6 and 68,3%, respectively. The inclusion of 5,7% of crude glycerin to laying waste in co-composting raises reductions of ST, SV, and allows greater N retention.

Key word: ammonia, windrows, total solids, volatile solids

Introdução

O Brasil ocupa lugar de destaque no cenário mundial com a produção de ovos, tendo a sétima melhor posição (com média de 34 bilhões de unidades produzidas ao ano), segundo os dados da UBABEF (2014). Em virtude do rigoroso controle das condições sanitárias das instalações dos animais para que se mantenham os índices produtivos, aumenta-se a preocupação com o manejo dos dejetos gerados pelas aves.

Estes dejetos possuem elevada quantidade de material orgânico facilmente degradável, sobretudo em função das dietas ricas em constituintes digestíveis, além de teores de N e P e micro-organismos patogênicos como dos gêneros *Salmonella* e *Escherichia* (Nadia et al., 2015). O processo de compostagem é amplamente empregado nas unidades produtoras de ovos e pode ser definido como uma técnica aeróbia de tratamento e reciclagem dos nutrientes, na qual os constituintes orgânicos são degradados até que atinjam uma condição estável, reduzindo assim suas características poluentes (Nasiru et al., 2013). Este processo é capaz de reduzir o volume dos resíduos, inativar patógenos e produzir o composto, que é um fertilizante orgânico (Mehta et al., 2014).

A compostagem de resíduos em associação, também definida como co-compostagem, tem sido objeto de investigação de pesquisadores, como trabalhos realizados por Hachicha et al. (2009), com a junção de dejetos de poedeiras e resíduo da obtenção de azeite e por Liu et al. (2015) com dejetos de poedeiras e resíduo de glutamato monossódico. A escolha dos resíduos que serão associados baseia-se no maior fornecimento de energia ao meio, como complementação da fração de N contida nos dejetos, favorecendo assim a degradação do material em compostagem (maiores reduções de sólidos, maiores temperaturas e consequente inativação de patógenos) e a melhor qualidade do composto (maior conteúdo de nutrientes).

Dentre os resíduos agroindustriais com conteúdo energético elevado, que poderia ser associado aos dejetos de poedeiras para o desenvolvimento da compostagem, a glicerina bruta desponta-se como um dos principais, sobretudo na região Centro-Oeste, que é a maior produtora de biodiesel do país (ANP, 2015). Este subproduto tem sua utilização limitada principalmente devido às impurezas (umidade, lipídeos e sódio, principalmente) que pode conter além do glicerol, que seria o constituinte de interesse para aumento do teor energético nas leiras.

Devido a seu elevado conteúdo energético disponível o uso da glicerina como substrato a ser co-compostado pode favorecer a ação dos micro-organismos decompositores, maximizando as reduções de constituintes sólidos e reduzindo as perdas de nitrogênio por volatilização, aumentando-se o teor deste nutriente no composto final.

Deste modo, objetivou-se encontrar a inclusão ideal de glicerina bruta na compostagem de dejetos de galinhas poedeiras, sendo avaliados os benefícios sobre as reduções de ST (sólidos totais), SV (sólidos voláteis), coliformes e conservação do N.

Material e Métodos

A pesquisa foi realizada no município de Dourados, MS, Brasil (latitude 22°11'55" S, longitude 54°56'7" W e 452 m de altitude) entre a primavera e o verão. Segundo a classificação climática de Köppen, o clima da região é úmido mesotérmico - Cwa, apresentando média de temperatura e precipitação entre 20 e 24 °C e 1250 e 1500 mm, respectivamente.

Para a condução do experimento adotou-se delineamento inteiramente casualizado, sendo os tratamentos experimentais definidos pelos níveis de adição de glicerina bruta (0, 3, 6, 9 e 12% em relação a massa fresca enleirada) aos dejetos de poedeiras e constando de 6 repetições (leiras).

Para a coleta dos dejetos o piso abaixo das gaiolas de alojamento das aves foi previamente limpo, retirando-se todos os resíduos que estavam depositados nesta área. No dia da coleta, a massa de dejetos acumulada por um período máximo de sete dias de excreção foi raspada diretamente do piso, sendo assim atendida a quantidade necessária para a formação das leiras experimentais. Os dejetos coletados foram homogeneizados e então amostrados para a determinação dos ST, que estava em torno de 45%, garantindo assim um teor desejável para formação das leiras, sem que houvesse excesso ou falta de umidade. O ST determinado foi utilizado apenas para o controle de condição de umidade do material, visto que a glicerina bruta foi adicionada aos dejetos em função do peso da massa fresca de resíduos.

A composição inicial dos dejetos de poedeiras foi a seguinte: 45,2% de ST, dos quais 78,5% eram voláteis (SV), 20,3 e 3,4% de carbono orgânico e nitrogênio, respectivamente. Já a glicerina bruta apresentou 95,0 % de ST, 14,2 % de glicerol e 6,10% de metanol, além de DQO igual a 1532g de O₂/l de glicerina.

Os dejetos coletados foram misturados à glicerina bruta, segundo as doses especificadas, sendo cada leira confeccionada individualmente e homogeneizada manualmente. Este material foi acondicionado em recipientes de PVC, denominados micro-leiras e compostos por canos com 0,25 m de diâmetro e 0,5 m de comprimento, vedados na parte inferior e com perfurações ao longo do perfil para facilitar a tomada da temperatura, sendo esta estrutura correspondente à uma leira ou unidade experimental. Cada leira foi formada por aproximadamente 17kg de massa fresca (dejeito + glicerina bruta) em compostagem, sendo que para manter as condições aeróbias do processo foram medidas diariamente as temperaturas e semanalmente os teores de ST. Os revolvimentos foram realizados acomodando-se todo o material de cada leira que estava contido no recipiente de PVC, em piso forrado com manta plástica, seguido de homogeneização

deste conteúdo e retorno ao recipiente. A frequência destes revolvimentos foi a cada dois dias durante os primeiros 15 dias de compostagem, a cada três dias durante os 15 dias seguintes e a cada cinco dias nos próximos 15 dias, sendo que após este período de 45 dias foram realizados uma vez na semana até o final da compostagem.

As leiras foram mantidas em compostagem por 70 dias, sendo utilizada a estabilização da perda de massa como parâmetro para finalização do processo. Durante o período experimental foram acompanhados as massas e volumes das leiras, com coleta de material para determinação do pH, dos teores de ST, sólidos voláteis (SV), carbono (C) e, a partir deste a matéria orgânica compostável - MOC, matéria orgânica resistente à compostagem - MORC e demanda química de oxigênio - DQO; além dos números mais prováveis de coliformes totais e termo tolerantes e teores de N.

Metodologias empregadas

As temperaturas foram mensuradas todos os dias, às 8:00, utilizando termômetro digital do tipo espeto inserido no centro das leiras. As análises de ST, SV, coliformes totais e temotolerantes, além de pH foram realizadas segundo metodologia descrita pela APHA (2005). Os teores de carbono orgânico oxidável, matéria orgânica compostável, matéria orgânica resistente à compostagem e demanda química de oxigênio, foram estimados pela metodologia descrita por Kiehl (1985). O teor de nitrogênio foi avaliado como descrito por Silva e Queiroz (2006).

Os resultados foram submetidos à análise de variância e contrastes ortogonais foram utilizados para avaliar os efeitos de ordem linear, quadrático e cúbico sobre as doses de glicerina bruta, sendo as análises realizadas pelo software R (versão 3.1.0 for Windows).

Resultados e Discussão

As temperaturas desenvolvidas durante a co-compostagem dos dejetos de poedeiras e glicerina bruta (Figura 1) ocorreram de forma similar entre os diferentes níveis de adição da glicerina, com exceção da inclusão de 12%, que resultou em valores inferiores durante todo o tempo de compostagem. A manutenção das temperaturas em faixas termofílicas é recomendada para que haja a inativação de micro-organismos patogênicos, além de auxiliar na degradação dos resíduos, elevando assim as reduções de constituintes sólidos.

Os resultados de números mais prováveis de coliformes totais e termotolerantes e as reduções destes grupos durante a compostagem (Tabela 1) evidenciam que o processo foi efetivo para a obtenção de fertilizante orgânico que pode ser utilizado imediatamente e sem riscos sanitários. Além da temperatura, a manutenção do pH em faixa alcalina (Figura 2) também pode ter colaborado para a formação de um ambiente hostil aos coliformes. Este efeito pode ter auxiliado também em leiras que continham 12% de inclusão de glicerina, visto que aos 35 dias de compostagem as reduções dos números mais prováveis de coliformes totais e termotolerantes já haviam ultrapassado 90% dos conteúdos iniciais em todas as leiras.

Os efeitos da temperatura e pH provavelmente determinaram a redução de coliformes nas leiras, e também podem ter auxiliado a degradação do material orgânico por actinobactérias, que possuem atuação favorecida quando o pH permanece em faixa neutra ou levemente alcalino (até 9,0) e as temperaturas estão próximas de 45° C (Diaz et al. 2007). A eficiência de degradação deste grupo de micro-organismos é elevada, podendo alcançar mais de 40% de redução da fração sólida inicial durante os primeiros sete dias de compostagem, no entanto, com temperaturas mais elevadas e pH em faixa alcalina são relatadas elevadas perdas da fração nitrogenada, sobretudo quando esta

apresenta pouca resistência a degradação (Wang et al., 2015). Os grupos nitrificantes e fixadores de N terão dominância na população microbiana em estágios mais avançados do processo de compostagem, sendo que, inicialmente as perdas da fração N são maiores e ocorrem mais facilmente em condições de pH alcalino (Diaz et al., 2007).

A formação de leiras contendo glicerina bruta em associação com os dejetos de poedeiras foi planejada no intuito de acrescentar carbono facilmente degradável (glicerol) à uma fonte de nitrogênio disponível em maiores quantidades, buscando assim sincronia na velocidade de degradação dos constituintes orgânicos, com maximização dos resultados do processo de compostagem. No entanto, a fonte de glicerina bruta utilizada continha baixos teores de glicerol (apenas 14,2%) e elevadas concentrações de lipídeos (próximo de 78%) resultando assim na inclusão de 2,34% de lipídeos em leiras contendo 3% de glicerina bruta até 9,36% deste constituinte em leiras com 12% de glicerina.

A inclusão de lipídeos em leiras de compostagem foi recomendada por Hachicha et al. (2009) até a concentração de 17,4%, com melhorias para a fase termofílica (maior duração e alcance de temperaturas) e a consequente sanitização do produto final. No entanto, nas condições experimentais descritas pelos autores, a água residuária da extração de azeite de oliva foi empregada como fonte de lipídeos, representando assim um co-produto com elevada concentração de ácidos graxos insaturados (oléico e linoléico), que devido a suas insaturações apresentam-se menos viscosos, solubilizando-se melhor no meio em degradação; estes também apresentam menor inclusão de componentes tóxicos, visto que este resíduo é obtido por meio da prensagem física das olivas, sem a adição de outros constituintes. Além disso, os autores utilizaram aeração contínua nas pilhas de compostagem, o que pode ter elevado a disponibilidade de oxigênio no interior das leiras, favorecendo o aumento de temperaturas. Nas condições experimentais deste trabalho verificou-se que a inclusão de doses maiores de glicerina

(acima de 6%) favoreceu a formação de leiras de compostagem mais densas, pois apesar da glicerina conter reduzida umidade é um resíduo líquido e favorece a agregação das partículas da massa, restringindo o espaço disponível a manutenção da aeração nas pilhas.

A partir dos resultados das reduções dos constituintes sólidos, carbono e suas frações e N foram obtidos modelos de predição, com os quais se estimaram as doses ideais de inclusão de glicerina. Com o emprego destes modelos é possível verificar que as máximas reduções de ST e SV (Figura 3) ocorreram com a inclusão de 5,7% de glicerina bruta na massa das leiras, atingindo assim valores de 64,4 e 75,8%, respectivamente. Estas elevadas degradações provavelmente estão associadas a facilidade de digestão dos constituintes inseridos pela glicerina bruta, já que a dose de inclusão de 5,7% foi superior ao tratamento controle, e ainda, com a participação desta quantia da glicerina foram acrescidos 0,8% de glicerol e 4,5% de lipídeos. É provável que as inclusões de glicerina em doses superiores à 5,7% tenham colaborado com a diminuição das condições de aeração das leiras e assim reduzido a intensidade de degradação no interior das pilhas.

As expectativas de redução de sólidos durante o processo de compostagem aumentam conforme se elevam as disponibilidades dos constituintes orgânicos para a digestão, sendo que as degradações para os dejetos de animais não ruminantes são maiores em comparação as obtidas em compostagem dos dejetos de ruminantes. Compostando isoladamente os dejetos de aves Wang et al. (2015) verificaram redução de SV de 63% durante 60 dias de compostagem, que pode ser considerada excelente, enquanto que Orrico Jr et al. (2012) encontraram valores máximos de 44% para a degradação de SV durante os 70 dias de compostagem dos dejetos de bovinos. Sendo assim, é possível considerar que a inclusão de glicerina bruta nas leiras formadas com os dejetos de poedeiras elevou as reduções de sólidos voláteis em até 21,9% se comparadas

com o trabalho de Wang et al. (2015), favorecendo a degradação de constituintes orgânicos e poluentes, e gerando fertilizante orgânico de melhor qualidade.

A retenção de N durante a compostagem dos resíduos é determinante para que a compostagem seja considerada eficiente na reciclagem de nutrientes, visto que juntamente com outros componentes de valor agrônômico, como P e K, determinarão a qualidade do fertilizante orgânico. Em dejetos de poedeiras esta é uma preocupação relatada como essencial há anos (Eiland et al., 2001; Tiquia e Tam, 2002), já que este resíduo possui as condições necessárias para apresentar elevadas perdas de N, com pH alcalino, intensidade na fase termofílica inicial e formação de amônia, que facilmente se perde por volatilização, roubando N da massa de compostagem.

A adição de glicerina acidificou o meio por meio da liberação de ácidos graxos, como pode ser observado nos tratamentos (quanto mais glicerina, menor o pH no início). A acidificação do meio é uma alternativa que pode prevenir as indesejáveis perdas de N e também reduzir a emissão de odores com a formação de amônia a partir da compostagem dos dejetos de poedeiras, no entanto não colabora com a inclusão de nutrientes ou material orgânico, que poderiam beneficiar a eficiência da compostagem (Mari et al. (2005) utilizaram ácido sulfúrico; Yu e Huang (2009) empregaram acetato de sódio e Jeong e Kim (2001) o ácido fósforico). De acordo com os resultados de perdas de N (Figura 4) é possível interpretar que a glicerina bruta foi eficiente na sua retenção durante a compostagem, visto que houve decréscimo das perdas conforme se adicionaram glicerina bruta nas leiras, e que a condição de compostagem sem adição de glicerina resultou na maior perda durante o processo (32,1%). Outro resultado complementar e determinante para a indicação de inclusão da glicerina bruta durante a compostagem dos dejetos de poedeiras se refere à concentração de N no composto (Figura 5), que foi máxima para a dose de 5,82% de glicerina bruta, alcançando a concentração de 4,72% de N, enquanto

que no composto que não recebeu glicerina bruta este valor de 3,47% (36% inferior). Ainda é importante considerar que os valores de N no material inicial foi decrescente segundo a inclusão da glicerina, ou seja, os maiores teores estiveram na dose de 0%, com 2,47% de N e mesmo assim, como as perdas foram superiores durante a compostagem, resultaram em compostos com menores concentrações de N.

As condições de compostagem (pH e temperatura), sobretudo no início do processo, foram favoráveis para que ocorressem maiores perdas de N, sendo que Kithome et al. (1999) considerou que até 62% do N inicial em leiras formadas com os dejetos de poedeiras pode ser facilmente perdido na forma de amônia durante os primeiros 15 dias de compostagem. Liu et al. (2015) avaliaram a utilização de água residuária da produção de glutamato monossódico no intuito de reduzir esta condição desfavorável para a retenção de N e recomendaram a inclusão de até 3% de glutamato às leiras formadas com os dejetos de aves, reduzindo em 71% a volatilização de amônia nos primeiros 10 dias de compostagem. A água residuária de glutamato monossódico contém além de proteínas e aminoácidos livres, quantidades elevadas de carbono facilmente degradável, que os autores referenciaram como o componente mais importante na redução das perdas de N, comportamento que pode ser comparado a atuação da glicerina bruta nas leiras.

As reduções do carbono e suas frações também representam a intensidade de degradação do material orgânico, assim como refletem a facilidade com que estas degradações ocorreram, sendo que quanto mais similares forem as reduções de MOC e MORC menor será a resistência de digestão apresentada pelos resíduos. Desta forma, é possível verificar que as máximas reduções de MOC e MORC (76,6 e 75,4%, respectivamente, Figura 6) foram elevadas e com valores semelhantes, no entanto ocorreram em inclusões de glicerina diferenciadas, sendo de 6,25% para a MOC e 4,97% para a MORC. É provável que com a adição de glicerina bruta em doses mais elevadas e

o possível comprometimento da aeração no interior das pilhas, tenha ocorrido dificuldade para a oxidação da fração resistente à compostagem, resultando assim em uma intensidade maior de degradação em dose menor de inclusão de glicerina.

Em trabalho realizado por Orrico Jr et al. (2012) os autores obtiveram reduções de 75,4 e 71,8% para a MOC contida em leiras de compostagem formadas com os dejetos de bovinos de corte alimentados com dietas contendo 60 e 40% de concentrado, respectivamente, enquanto que as reduções de MORC nestas mesmas condições foram de apenas 53,2 e 38,5, respectivamente. Este comportamento reforça a facilidade de degradação dos constituintes orgânicos dos dejetos de poedeiras durante a compostagem, sobretudo se em associação com a glicerina bruta.

Em relação às reduções de carbono e da relação C:N observam-se comportamento semelhante ao apresentado para as reduções de sólidos, sobretudo a fração volátil, sendo que os valores máximos ocorreram com a adição de 6,3 e 6,8% de glicerina bruta, atingindo 76,6 e 68,3% para o C e a relação C:N, respectivamente. Estes elevados valores demonstram benefícios para o uso da glicerina em associação com os dejetos de poedeiras, assim como indicam a potencialidade destas misturas para que efetivamente sejam degradadas pelo processo de compostagem, visto que quanto mais elevada for a redução do material orgânico no composto, melhor será a sua qualidade.

As reduções de DQO (Figura 6) expressam a perda de capacidade poluente dos resíduos, sendo uma medida utilizada como parâmetro para mencionar a eficiência da compostagem no tratamento dos resíduos. Os valores observados indicam redução máxima de 34,6% para a inclusão de 7,7% de glicerina bruta, resultando em DQO igual à 356 g por kg de composto, considerado seguro para o uso, conforme mencionado por Kiehl (1985).

Conclusões

A inclusão de até 5,7% de glicerina bruta aos dejetos de poedeiras em co-compostagem eleva as reduções de sólidos totais e voláteis e permite maior retenção de N no composto.

A glicerina bruta não altera as reduções de coliformes durante a compostagem dos dejetos de poedeiras.

Agradecimentos

Este trabalho foi realizado com o apoio financeiro da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD) e da Fundação de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul (Fundect), além de bolsa de estudos, nível de mestrado, concedida pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes).

Referências Bibliográficas

- ANP - Agência Nacional do Petróleo. 2015. Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Online document available from:<<http://www.anp.gov.br>>.
- APHA. American Public Health Association, 2005. Standard methods for examination of water and wastewater. 21th ed. Washington: American Water Works Association, 1.368 p.
- Diaz, L. F.; Bertoldi, M.; Bidlingmaier, W.; Stentiford, E. 2007. Compost Science and Technology Waste Management Series, 8 th ed. 364 p.
- Eiland, F.; Leth, M.; Klamer, M.; Lind, A. M.; Jensen, H. E. K.; Iversen, J. J. L. 2001; C and N Turnover and Lignocellulose Degradation During Composting of *Miscanthus* Straw And Liquid Pig Manure. Compost Science & Utilization 9: 186-196.
- Hachicha, R.; Hachicha, S.; Trabelsi, i.; Woodward, S.; Mechichi, T. 2009. Evolution of the fatty fraction during co-composting of olive oil industry wastes animal manure: Maturity assessment of the end product. Chemosphere 75: 1382-1386.
- Jeong, Y. K.; Kim, J. S. 2001. A new method for conservation of nitrogen in aerobic composting processes. Bioresource Technology 79: 129-133.
- Kiehl, E.J. 1985. Fertilizantes orgânicos. 5.ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1985. 492p.

- Kithome, M.; Paul J. W.; Bomke, A. A. 1999. Reducing nitrogen losses during simulated composting of poultry manure using adsorbents or chemical amendments. *Journal of Environmental Quality* 28: 194-201.
- Liu, L.; Kong, H.; Lu, B.; Wang, J. Xie, Y. Fang, P. 2015. The use of concentrated monosodium glutamate wastewater as a conditioning agent for adjusting acidity and minimizing ammonia volatilization in livestock manure composting. *Journal of Environmental Management* 161: 131-136.
- Mari, I.; Ehalotis, C.; Kotsou, M.; Chatzipavlidis, I.; Georgakakis, D. Use of sulfur to control pH in composts derived from olive processing by-products. *Compost Science & Utilization* 13: 281-287.
- Mehta, C. M.; Uma, P.; Franke-Whittle, I. H.; Sharma, A. K. 2014. Compost: its role mechanism and impact on reducing soil-borne plant diseases. *Waste Management* 34: 607-622.
- Nadia O. F.; Xiang, L. Y.; Lie, L. Y.; Anuar, D. C.; Afandi, M. P. M.; Baharuddin, S. A. 2015. Investigation of physico-chemical properties and microbial community during poultry manure co-composting process. *Journal of Environmental Science* 28: 81-94.
- Nasiru, A.; Ismail, N.; Ibrahim, M. H.; 2013. Vermicomposting: tool for sustainable ruminant manure management. *Journal Waste Management Article ID 732759*, 7 pages. <http://dx.doi.org/10.1155/2013/732759>.
- Orrico Junior, M.A.P.; Orrico, A. C. A.; Lucas Jr. J.; Sampaio, A. A. M.; Fernandes, A. R. M.; Oliveira, E. A. 2012. Compostagem dos dejetos da bovinocultura de corte: influência do período, do genótipo e da dieta. *Revista Brasileira de Zootecnia* 41: 1301-1307.
- Silva, D.J.; Queiroz, A.C. 2006. *Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos*. 3.ed. Viçosa: Editora Universitária. 166 p.
- Tiquia, S.M.; Tam, N.F.Y. 2000. Characterization and composting of poultry litter in forced-aeration piles. *Process Biochemistry* 37: 869-880.
- UBABEF - União Brasileira de Brasileira de Avicultura. 2014. *Relatório Anual 2014*. São Paulo, SP, 55p, Brasil.
- Wang, K.; He, C.; You, S.; Weijie, L.; Wang, W.; Zhang, R.; Qi, H.; Ren, N. 2015. Transformation of organic matter s in animal wastes during composting. *Journal of Hazardous Materials* 300: 745-753.
- Yu, H.; Huang, G. K. 2009. Effects of sodium acetate as a pH control amendment on the composting of food waste. *Bioresource Technology* 100: 2005-2011.

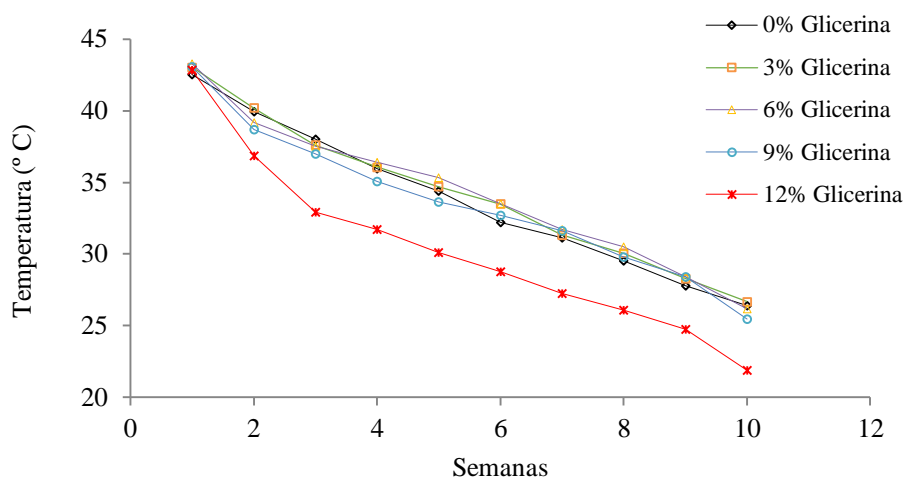


Figura 1. Temperaturas médias semanais durante a compostagem dos dejetos de poedeiras e níveis crescentes de inclusão de glicerina bruta.

Tabela 1. Números mais prováveis (NMP/100 g material) de coliformes totais e termotolerantes e reduções durante a compostagem de dejetos de galinhas poedeiras com inclusão de níveis crescentes de glicerina bruta

Inclusão de Glicerina	Coliformes Totais			Redução (%)	Coliformes Termotolerantes			Redução (%)
	Dias de Compostagem				Dias de Compostagem			
	0	35	70		0	35	70	
0%	2,58E+0			100,00	1,87E+0	0,00E+0		100,00
	7	2,12E-01	0,00		7	0	0,00	
3%	4,15E+0			100,00	2,85E+0			100,00
	7	5,95E-01	0,00		7	1,20E-01	0,00	
6%	3,40E+0	7,38E+0		100,00	2,09E+0			100,00
	7	0	0,00		7	6,00E-02	0,00	
9%	1,59E+0	9,88E+0		100,00	7,81E+0	7,22E+0		100,00
	7	0	0,00		6	0	0,00	
12%	1,98E+0	2,50E+0		100,00	1,29E+0	7,17E+0		100,00
	6	2	0,00		6	0	0,00	

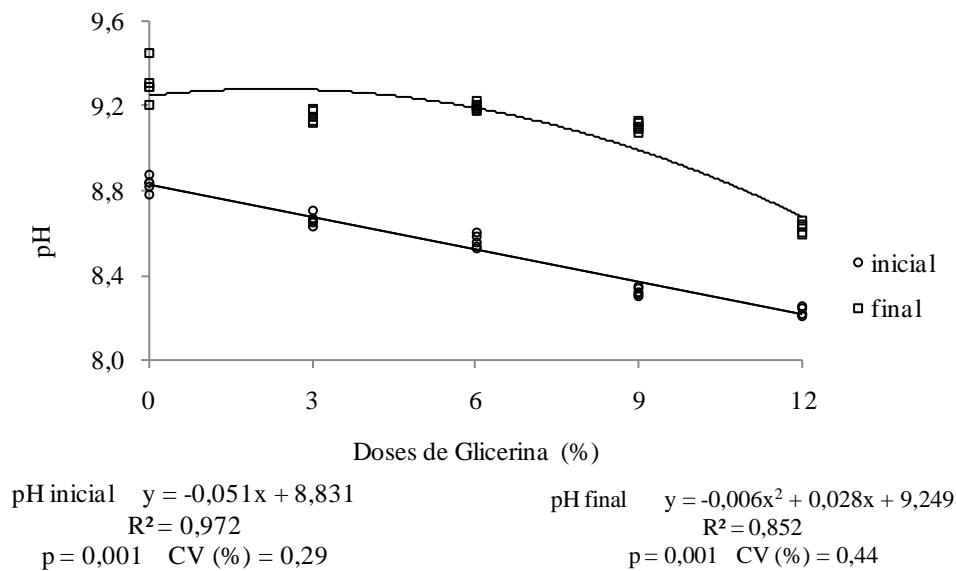


Figura 2. Valores de pH inicial e final durante a compostagem dos dejetos de poedeiras e níveis crescentes de inclusão de glicerina bruta

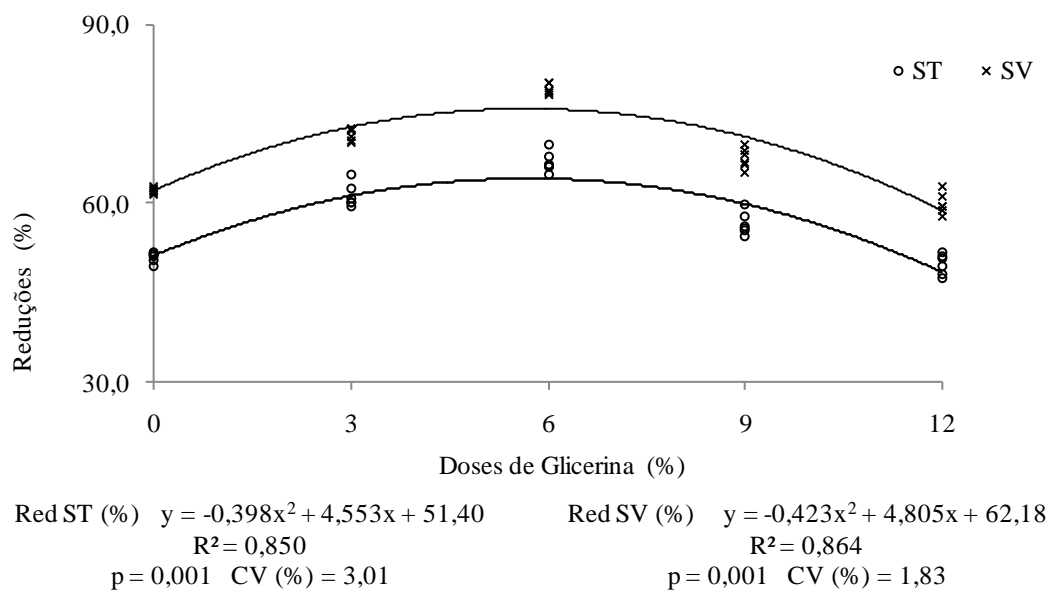


Figura 3. Reduções de ST e SV durante a compostagem dos dejetos de poedeiras e níveis crescentes de inclusão de glicerina bruta

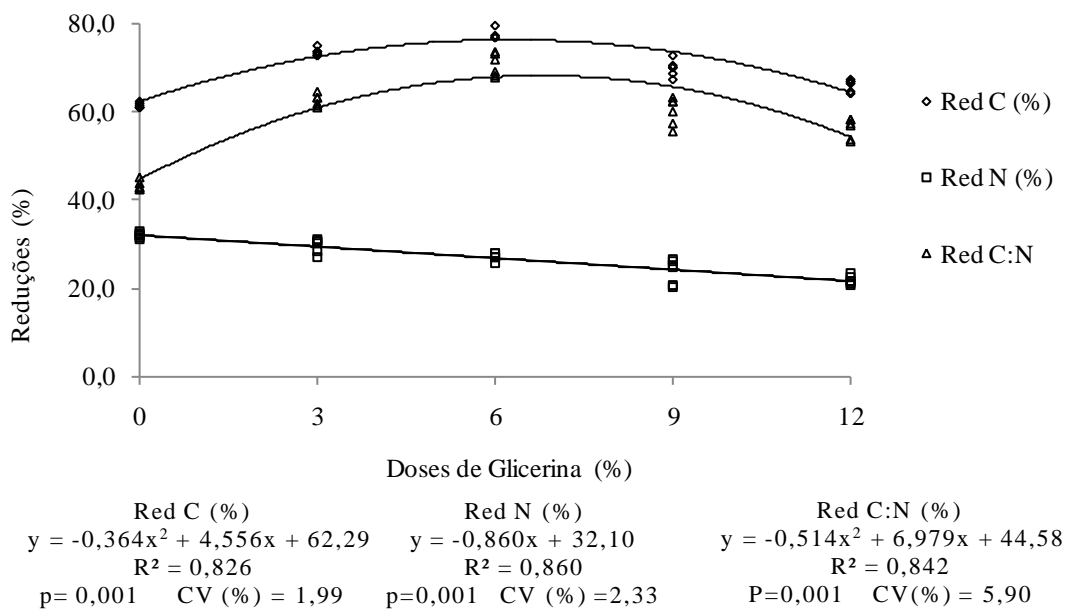


Figura 4. Reduções de carbono, nitrogênio e da relação C:N durante a compostagem dos dejetos de poedeiras e níveis crescentes de inclusão de glicerina bruta

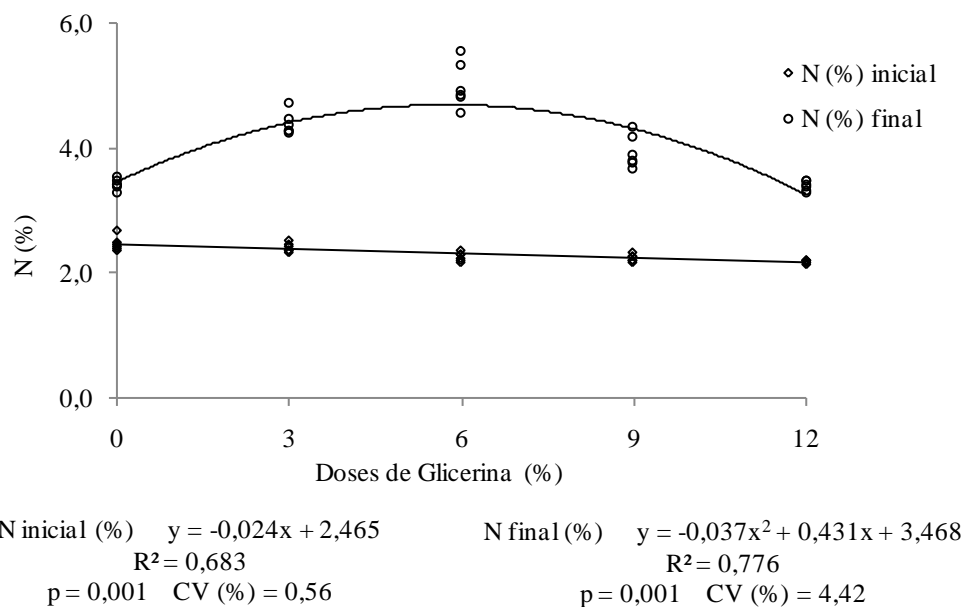
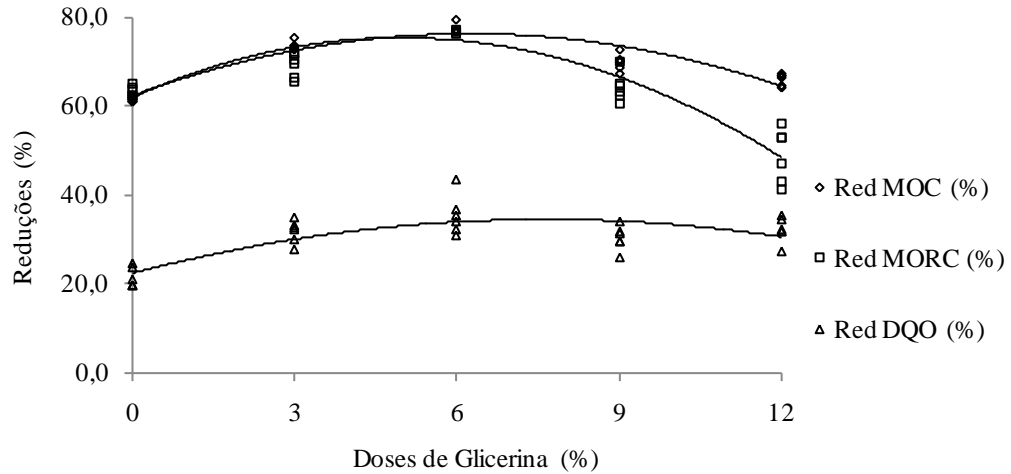


Figura 5. Teores de N (%) no material inicial e final da compostagem dos dejetos de poedeiras e níveis crescentes de inclusão de glicerina bruta



Red MOC (%)	Red MORC (%)	Red DQO (%)
$y = -0,364x^2 + 4,556x + 62,29$	$y = -0,541x^2 + 5,373x + 62,06$	$y = -0,207x^2 + 3,179x + 22,34$
$R^2 = 0,826$	$R^2 = 0,816$	$R^2 = 0,597$
$p = 0,001$ CV (%) = 1,99	$p = 0,001$ CV (%) = 3,28	$p = 0,001$ CV (%) = 15,21

Figura 6. Reduções da matéria orgânica compostável (MOC), matéria orgânica resistente à compostagem (MORC) e da demanda química de oxigênio DQO) a compostagem dos dejetos de poedeiras e níveis crescentes de inclusão de glicerina bruta

**CAPÍTULO 3. Co-digestão de dejetos de galinhas poedeiras e glicerina bruta:
Produções específicas de biogás e metano e reduções de constituintes poluentes**

Capítulo redigido segundo as normas da Revista Brasileira de Zootecnia

Co-digestão de dejetos de galinhas poedeiras e glicerina bruta: produções específicas de biogás e metano e reduções de constituintes poluentes

Ana Carolina Amorim Orrico¹, Aldo Felipe Fava², Marco Antonio Previdelli Orrico Junior¹, Natália da Silva Sunada³, Alice Watte Schwinge⁴, Rodrigo Garófallo Garcia¹

¹Universidade Federal da Grande Dourados, Faculdade de Ciências Agrárias, Curso de Zootecnia, Dourados, MS, Brasil

²Universidade Federal da Grande Dourados, Faculdade de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Dourados, MS, Brasil

³Universidade Federal da Grande Dourados, Faculdade de Ciências Agrárias, Bolsista PNPd pela CAPES, Dourados, MS, Brasil

⁴Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agrárias, Campus de Botucatu, Departamento de Engenharia Rural, Botucatu, SP, Brasil

Resumo: Objetivou-se com a execução deste trabalho avaliar as produções específicas de biogás e proporções de metano, bem como as reduções dos teores de sólidos totais (ST), sólidos voláteis (SV) e demanda química de oxigênio (DQO) durante o processo de co-digestão anaeróbia de dejetos de galinhas poedeiras acrescidos de níveis crescentes de glicerol (0, 1, 2, 3 e 4 em relação aos ST do substrato). Para o desenvolvimento do ensaio foram preparados substratos contendo 4% de ST, compostos por dejetos de galinhas poedeiras, glicerol, água para diluição destes resíduos e inóculo. Para tanto foram utilizados 20 biodigestores batelada (10% da massa seca). Houve diferença nas reduções dos constituintes ST, SV e DQO, apresentando comportamento quadrático e reduções máximas de 59,56; 73,31 e 46,22%, com inclusões de 2,3; 2,4 e 2,1%, respectivamente. Com relação às produções específicas de biogás, as maiores produções (1237,2 e 1626,1 litros kg⁻¹, por ST e SV adicionado, respectivamente) ocorreram quando se utilizou 2,5% de inclusão de glicerol, resultado semelhante foi observado quando analisadas as produções específicas de metano, sendo os maiores: 798,5 e 1049,1 litros kg⁻¹, por ST e SV adicionado, respectivamente, por inclusões de até 2,6% de glicerol. A inclusão de até 2,6% de glicerol a partir da glicerina bruta com 35% de pureza em substratos compostos por dejetos de galinhas poedeiras potencializa as reduções de constituintes sólidos e rendimentos de biogás e metano.

Palavras chave: avicultura, reciclagem energética, sólidos totais, sólidos voláteis.

Co-digestion of laying hens waste and crude glycerin: specific yield of biogas and methane and constituent reductions in pollutant constituent

Ana Carolina Amorim Orrico¹, Aldo Felipe Fava², Marco Antonio Previdelli Orrico Junior¹, Natália da Silva Sunada³, Alice Watte Schwinge⁴, Rodrigo Garófallo Garcia¹

¹Federal University on the Grande Dourados, Faculty of Agricultural Sciences, Animal Science Course, Dourados, MS, Brazil

² Federal University on the Grande Dourados, Faculty of Agricultural Sciences, Graduate Program in Animal Science, Dourados, MS, Brazil

³ Federal University on the Grande Dourados, Faculty of Agricultural Sciences, Scholarship PNPd for CAPES, Dourados, MS, Brasil

⁴ Paulista State University Júlio de Mesquita Filho, Faculty of Agricultural Sciences, Campus Botucatu, Rural Engineering Department, Botucatu, SP, Brazil

Abstract: It aimed to the execution of this work to evaluate specific biogás yield and proportions of methane, as well reductions of total solids (ST), volatile solids (SV) and chemical oxygen demand (DQO) during anaerobic co-digestion of laying hens waste added to increasing levels of glycerol (0, 1, 2, 3 e 4 in relation to ST of substrate). For development of the assay substrate were prepared containing 4% of ST, comprising to laying hens waste, glycerol, water for dilution of these residues and inoculum. Therefore were used 20 batch biodigestors (10% of dry matter). There was difference in the reductions of constituents ST, SV and DQO, showing quadratic behavior and maximum reductions of 59,56; 73,31 and 46,22%, with inclusions of 2,3; 2,4 and 2,1%, respectively. Regarding specific yield of biogás, the highest yield (1237,2 and 1626,1 liters kg⁻¹, for ST and SV added, respectively), occurred when using 2,5% of glycerol inclusion, Similar result was observed when analyzed specific yield of methane, the highest were: 798,5 and 1049,1 liters kg⁻¹, per ST and SV added, respectively, by inclusion of up to 2,6% of glycerol. The inclusion of glycerol up to 2,6% from crude glycerin containing 35% of glycerol in substrates composed of laying hens waste potentiates the reductions of solid constituents and biogas and methane yield.

Key words: poultry farming, energy recycling, total solids, volatile solids.

Introdução

De acordo com dados da União Brasileira de Avicultura (UBABEF, 2014) o Brasil produziu 34 bilhões de unidades de ovos no ano de 2013, e conseqüentemente grande quantidade de dejetos animais de elevado teor de matéria orgânica. Paralelo a este cenário existe a preocupação com a elevada produção de resíduos agroindustriais, como a glicerina bruta, já que segundo dados da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis foram produzidos 3419,8 milhões de litros de biodiesel no ano de 2014 (ANP, 2015), sendo ainda estimada a produção de 10% deste total de glicerina, representando uma elevada quantidade do co-produto a ser destinado.

A glicerina bruta é um substrato que desperta atenção quando comparado às outras fontes de carbono (como palhas, serragens e outros materiais fibrosos) já que apresenta elevado teor de carbono disponível no glicerol (Amon et al., 2004).

Formas de tratamento destes resíduos são fundamentais no intuito de se diminuir o impacto ambiental e torna-los materiais passíveis de serem aproveitados na cadeia produtiva. Processos biológicos de tratamento, como a co-digestão anaeróbia, podem ser aplicados a estes resíduos, já que esta técnica em comparação com a digestão anaeróbia convencional (utilizando um único substrato) possui um maior potencial de recuperação de energia (García-Gen et al., 2015).

Alguns estudos vêm sendo desenvolvidos com o intuito de se maximizar as produções de biogás e metano. Abouelenien et al. (2014) avaliando a co-digestão de dejetos de galinhas poedeiras e resíduos agrícolas (resíduo de coco, mandioca e borra de café) observaram acréscimo em 93% nas produções de metano quando comparado ao dejetos tratado isoladamente. Em trabalho realizado por Wang et al. (2012) avaliando a co-digestão de dejetos bovinos, dejetos de galinhas poedeiras e palha de trigo foi

observado que a palha melhorou o desempenho da biodigestão, porém, em grandes quantidades foi prejudicial, pelo elevado teor de fibra.

Objetivou-se com a execução deste trabalho avaliar as produções específicas de biogás e metano e ainda as reduções dos teores de sólidos totais (ST), sólidos voláteis (SV) e demanda química de oxigênio (DQO) durante o processo de co-digestão anaeróbia de dejetos de galinhas poedeiras acrescidos de níveis de glicerol.

Material e métodos

O trabalho foi realizado no Laboratório de Aproveitamento de Resíduos Agropecuários, da Faculdade de Ciências Agrárias pertencente à Universidade Federal da Grande Dourados. Os biodigestores foram de modelo batelada de bancada, com capacidade média para 1,3 litros de substrato em fermentação. Estes eram constituídos, basicamente, por 2 cilindros retos de PVC com diâmetros de 150 e 100 mm inseridos um no interior do outro, de tal forma que o espaço existente entre a parede externa do cilindro e a parede interna do cilindro exterior comporta um volume de água (“selo de água”). O cilindro de 100 mm teve uma das extremidades vedadas, conservando-se apenas uma abertura para a descarga do biogás, e foi emborcado no selo de água, para propiciar condições anaeróbias e armazenar o gás produzido. O aparato contava ainda com uma garrafa plástica para armazenamento do material a ser fermentado. Os biodigestores foram alojados em galpão com cobertura e paredes de alvenaria, protegidos do sol e das chuvas.

Para o abastecimento dos biodigestores foram utilizados dejetos frescos de galinhas poedeiras coletados por meio de raspagem diretamente do piso abaixo das gaiolas com no máximo 24 horas de excreção, do setor de avicultura da mesma instituição.

As concentrações de ST, SV e DQO foram determinadas segundo metodologia descrita por APHA (2005). Os cálculos das produções específicas de biogás e metano foram determinados por meio da divisão dos valores de produção pelas quantidades de ST, SV e DQO adicionadas. Estes resultados foram expressos em litros de biogás e metano por kg de cada um dos constituintes avaliados.

Para a composição dos tratamentos experimentais foi utilizada glicerina bruta contendo 35% de glicerol em níveis de inclusão do glicerol de 0, 1, 2, 3 e 4% nos ST. Na avaliação dos dados gerados no ensaio de co-digestão anaeróbia a partir das excretas de galinhas poedeiras em associação com diferentes inclusões de glicerol, foi adotado o delineamento inteiramente casualizado, composto por 5 tratamentos e 4 repetições, totalizando 20 biodigestores.

No dia do abastecimento dos biodigestores, o dejetos apresentou a seguinte composição: 40,14% de ST, dos quais 77,53% eram voláteis e a DQO igual a 451,88g O₂.kg de dejetos⁻¹. O inoculo continha 7,11% de ST, sendo 67,4% voláteis e a DQO de 326,31g de O₂/l. Já a glicerina bruta apresentou 95% de ST, 14% de glicerol, sendo este ajustado para conter 35% a partir do acréscimo de glicerina purificada contendo 95% de glicerol. Apresentou ainda: 6,10% de metanol, além de DQO igual a 1532g de O₂/l de glicerina.

Foram abastecidos biodigestores com substratos preparados em liquidificador com o intuito de se propiciar condições homogêneas para o processo de fermentação, constituído de dejetos de galinhas poedeiras, água para diluição destes resíduos e inoculo, na concentração inicial de 4% de ST. O inoculo foi preparado anteriormente ao início do período experimental com o intuito de acelerar as reduções de sólidos e consequentemente as produções de biogás, utilizando-se dejetos de galinhas poedeiras e

bovinos, e considerado pronto a partir de aproximadamente 90 dias de fermentação (quando atingiu concentração máxima de metano).

Os volumes de biogás produzidos diariamente foram determinados medindo-se o deslocamento vertical dos gasômetros e multiplicando esta medida pela área de secção interna dos mesmos, sendo que a cada leitura os gasômetros foram zerados utilizando-se o registro de descarga do biogás. A correção do volume de biogás para as condições de 1 atm e 20 °C foi efetuada com base no trabalho de Caetano (1985).

Para análise da composição do biogás foi utilizado o analisador de gases GA - 21 Plus, da Madur Electronics, equipado com sensores para determinação das quantidades de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂) e metano (CH₄). Foi adotado o delineamento inteiramente casualizado, composto por 5 tratamentos e 4 repetições. Os resultados foram submetidos a análise de variância à 5% de probabilidade pelo teste de F, considerando-se como fontes de variação os níveis de glicerol. Contrastes ortogonais foram utilizados para avaliar os efeitos de ordem linear, quadrático e cúbico dos níveis de glicerol, sendo as análises realizadas pelo software R (versão 3.1.0 for Windows).

Resultados e discussão

Reduções

Para reduções de ST, observou-se comportamento quadrático referente às doses de inclusão de glicerol, tendo como ponto máximo 2,26%, com reduções de 53,05%. Este valor de redução foi 12,27% superior ao apresentado quando não se incluiu glicerol ao processo. Por meio das equações obtidas (Tabela 1), determinaram-se os níveis que potencializaram o processo de degradação dos substratos.

As reduções de SV apresentaram ponto máximo ($p < 0,01$) quando utilizado 2,39% de inclusão de glicerol. Este constituinte melhor traduz o comportamento dos substratos,

já que consiste na matéria orgânica passível de degradação, desta maneira a máxima redução (73,31%) foi superior em 38,19% comparado aos substratos que não receberam o glicerol. Com base neste resultado, espera-se que neste nível de inclusão a matéria orgânica seja mais consumida e em consequência, haja a maior solubilização de nutrientes importantes na fertilização do solo e melhor aproveitamento para produção de gás.

Para DQO, as máximas reduções (46,2%) foram estimadas por inclusões de 2,13% de glicerol. Este resultado demonstra o benefício da co-digestão para a redução do poder poluente do material durante o processo, uma vez que esta foi 4,6% superior a observada no tratamento sem inclusão de glicerol, levando-se em conta que a DQO tem relação direta com a capacidade do material em consumir oxigênio no meio.

Os dejetos não sofreram degradação prévia, pelo fato de não terem ficado sob acúmulo abaixo das gaiolas. Evidencia-se isso em resultado semelhante que foi encontrado em trabalho realizado por Farias et al. (2012) avaliando diferentes tempos de acúmulo dos dejetos de galinhas poedeiras (1, 8, 15 e 22 dias) durante o processo de biodigestão anaeróbia. Os autores verificaram que o menor tempo de permanência do material determinou as maiores reduções (61,96 e 74,94% para ST e SV, respectivamente), demonstrando que a maior permanência da matéria orgânica no local de alojamento dos animais reduz a eficiência do processo.

Os valores de redução foram inferiores aos encontrados por Astals et al. (2012) avaliando a co-digestão de dejetos de suíno e glicerina bruta. Os autores verificaram reduções de $61,2 \pm 1,8\%$ de ST e $77,7 \pm 1,5\%$ de SV. Este comportamento pode estar associado à composição dos substratos, sendo utilizado dejetos de suíno, que recebem dietas com maior teor de proteína, aumentando o teor de nitrogênio dos dejetos; como consequência deste aumento, maior quantidade de glicerol pode ser adicionada para se equilibrar a relação C:N, o que é evidenciado quando observa-se que seu teor ideal de

inclusão foi de 4% (acima do encontrado para poedeiras). Com isso, observa-se que a maior redução para dejetos de poedeiras (ao nível de 2,6%) está relacionada ao carbono disponível para consumo dos micro-organismos responsáveis pelo processo e que os níveis acima deste, embora elevem o carbono, reduzem o nitrogênio disponível.

Verificou-se que independente do parâmetro de redução (ST, SV e DQO) avaliado, quando se excedeu o nível de glicerol, houve queda nas reduções (Figura 2). Este comportamento pode estar relacionado com as impurezas contidas na glicerina bruta já que esta apresentava apenas 35% de glicerol. Sendo assim, a glicerina bruta utilizada neste trabalho pode ter exercido ação tóxica aos micro-organismos, pois apresenta níveis altos de ácidos graxos; segundo Cammarota e Freire (2006) os substratos oleosos podem ser prejudiciais a biodigestão já que eles podem formar uma camada ao redor das partículas e, desta maneira, torna-las indisponíveis para a ação das enzimas dos micro-organismos, sendo reduzido o aproveitamento dos sólidos.

Produções específicas de Biogás e Metano

Verificou-se que as produções específicas de biogás e metano por ST e SV adicionados apresentaram comportamento semelhante ao encontrado para as reduções de sólidos.

As máximas produções de biogás, 1237,2 litros kg^{-1} ST adicionado e 1626,1 litros kg^{-1} SV adicionado foram possibilitadas pela inclusão de 2,5% de glicerol (Tabela 1). Estas produções foram 19,3 e 22,1%, respectivamente, superiores quando comparadas aos biodigestores que não receberam glicerol.

O comportamento dos resultados (Figura 3) mostra que o glicerol foi benéfico à biodigestão do dejetos de poedeiras, uma vez que elevou as produções de biogás até o limite de 2,5%. Esta vantagem da co-digestão do glicerol com dejetos de poedeiras na

produção de biogás pode ser evidenciada quando comparada aos resultados obtidos por Farias et al. (2012) com dejetos de galinhas poedeiras isoladamente. Estes autores verificaram produções específicas de 304 litros de biogás kg^{-1} ST adicionado e 384,8 litros de biogás kg^{-1} SV adicionado, sendo estes valores em até 323% inferiores aos encontrados neste trabalho.

Trabalhando isoladamente com a produção específica de metano, o gás de maior interesse, verificou-se acréscimo nas produções para os parâmetros ST e SV adicionados quando utilizadas inclusões de 2,6% de glicerol (Tabela 1, figura 4). Este comportamento era esperado já que o constituinte SV é parte integrante dos ST. As maiores produções específicas de metano (798,5 litros kg^{-1} ST adicionado e 1049,1 litros kg^{-1} SV adicionado) foram superiores em até 34,7% aos resultados apresentados pelos biodigestores que não receberam a inclusão de glicerol. De maneira semelhante Minho et al. (2012) avaliando o processo de co-digestão anaeróbia de dejetos de galinhas poedeiras e glicerina bruta, verificaram incremento na produção total de biogás quando utilizaram a inclusão de 6% de glicerina bruta, obtendo produções de 27,350 L, em comparação ao tratamento sem glicerina no qual houve produção de 6,565 L, sendo que as proporções de metano na fase sem glicerina foram de 58% e, com a inclusão foi de 67%. Desta maneira fica evidenciado os benefícios que podem ser propiciados quando são atendidas as exigências energéticas dos micro-organismos quando oferecida fonte orgânica altamente disponível, ofertando energia para os micro-organismos.

Quando se adicionaram níveis superiores a 2,6% de glicerol aos substratos, observou-se queda nas produções específicas. Este comportamento pode estar relacionado a presença de ácidos graxos voláteis (AGV) e ainda à ação física desempenhada pelo encapsulamento dos constituintes pelo óleo, tornando os nutrientes inacessíveis aos micro-organismos, sendo assim, como foi observado anteriormente, esta

indisponibilidade prejudicou as reduções de ST e SV e, conseqüentemente, foram reduzidas as produções de biogás e metano (Cammarota e Freire, 2006).

Conclusão

A inclusão de até 2,6% de glicerol a partir de glicerina contendo 35% de glicerol a dejetos de galinhas poedeiras potencializa as reduções dos constituintes ST e SV, bem como maximiza as produções de biogás e metano.

Agradecimentos

Este trabalho foi realizado com o apoio financeiro da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD) e da Fundação de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul (Fundect), além de bolsa de estudos, nível de mestrado, concedida pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes).

Referências bibliográficas

- Abouelenien, F.; Namba, Y.; Kosseva, M.R.; Nishio, N.; Nakashimada, Y. Enhancement of methane production from co-digestion of chicken manure with agricultural wastes. *Bioresource Technology* 159:80-87.
- Amon, Th.; Amon, B.; Kryvoruchko, V.; Bodiroza, V.; Potsch, E.; Zollitsch, W. 2006. Optimising methane yield from anaerobic digestion of manure: Effects of dairy systems and of glycerine supplementation. *International Congress Series* 1293: 217-220.
- ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás natural e Biocombustíveis. 2013. Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis. Rio de Janeiro, RJ, 236p, Brasil.
- APHA - American Public Health Association. 2005. Standard methods for examination of water and wastewater. 21th ed. American Water Works Association, Washington.
- Astals, S.; Nolla-Ardèvol, V.; Mata-Alvarez, J. 2012. Anaerobic co-digestion of pig manure and crude glycerol at mesophilic conditions: Biogas and digestate. *Bioresource Technology* 110:63-70.

- Caetano, L. 1985. Proposição de um sistema modificado para quantificação de biogás. Dissertação (M.Sc.), Universidade Estadual Paulista, Botucatu.
- Cammarota, M. C.; Freire, D. M. G. 2006. A review on hydrolytic enzymes in the treatment of wastewater with high oil and grease content. *Bioresource Technology* 97:2195-2210.
- Farias, R.M.; Orrico Junior, M.A.P; Orrico, A.C.A; Garcia, R.G.; Centurion, S.R.; Fernandes, A.R.M. 2012. Biodigestão anaeróbia de dejetos de poedeiras coletados após diferentes períodos de acúmulo. *Ciência Rural* 42:1089-1094.
- García-Gen, S.; Rodríguez, J.; Lema, J.M. 2015. Control strategy for maximum anaerobic co-digestion performance. *Water Research* 80:209-216.
- Minho, C.V.; Konrad, O.; Koch, F.F.; Kleinschmitt, A.B.; Casaril, C.; Lumi, M. 2012. Uso da glicerina residual na geração de biogás a partir do lodo de estação de tratamento de efluentes e dejetos de aves poedeiras. *Engenharia Ambiental* 9:041-050.
- UBABEF - União Brasileira de Brasileira de Avicultura. 2014. Relatório Anual 2014. São Paulo, SP, 55p, Brasil.
- Wang, X.; Yang, G.; Feng, Y.; Ren, G.; Han, X. 2012. Optimizing feeding composition and carbon–nitrogen ratios for improved methane yield during anaerobic co-digestion of dairy, chicken manure and wheat straw. *Bioresource Technology* 120:78-83.

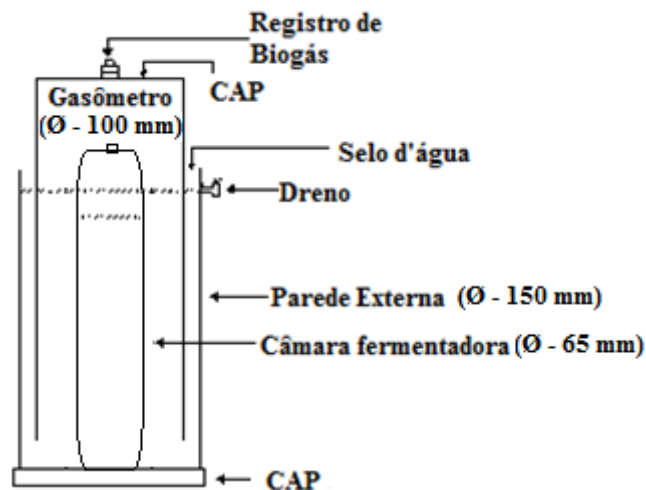


Figura 1. Representação esquemática de biodigestor batelada de bancada.

Tabela 1. Modelos de regressão, seguidos de R², P e CV, para as reduções de ST, SV e DQO, bem como as produções específicas de biogás e metano obtidos durante a co-digestão de substratos preparados com dejetos de galinhas poedeiras acrescidos de doses crescentes de glicerina bruta.

Parâmetro Avaliado		Modelo de regressão	R ²	P	CV
Reduções (%)	ST (%)	$y = -1,274x^2 + 5,758x + 53,05$	0,87	8,06E-08	1,49
	SV (%)	$y = -1,418x^2 + 6,781x + 65,199$	0,88	8,11E-07	1,71
	DQO (%)	$y = -1,079x^2 + 4,606x + 41,301$	0,76	1,12E-05	2,28
Produções (L/kg)	biogás / ST adicionado	$y = -31,495x^2 + 158,77x + 1037,1$	0,68	0,00082	4,66
	Biogás/ SV adicionado	$y = -47,098x^2 + 235,65x + 1331,3$	0,75	0,0001	4,33
	metano / ST adicionado	$y = -28,356x^2 + 147,47x + 606,77$	0,79	6,05E-05	5,54
	metano / SV adicionado	$y = -40,694x^2 + 209,83x + 778,63$	0,83	9,71E-06	5,13

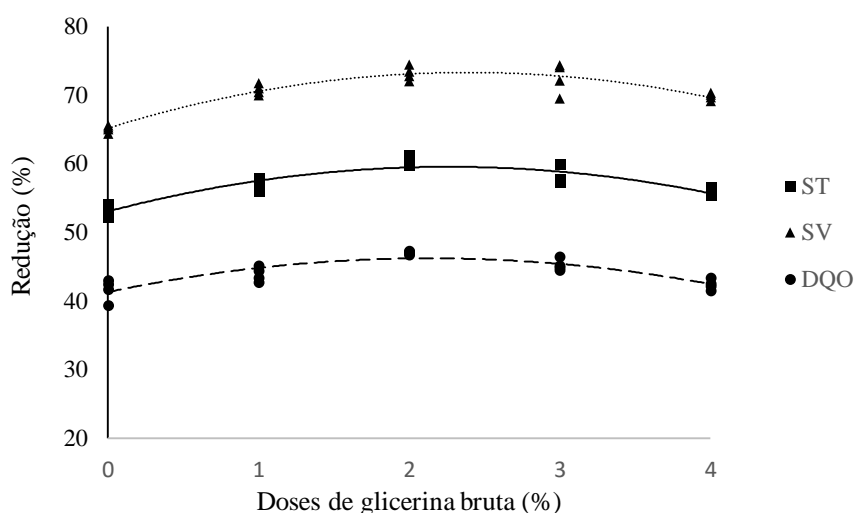


Figura 2. Reduções (%) de ST, SV e DQO durante a co-digestão de dejetos de galinhas poedeiras e doses crescentes de inclusão de glicerina bruta.

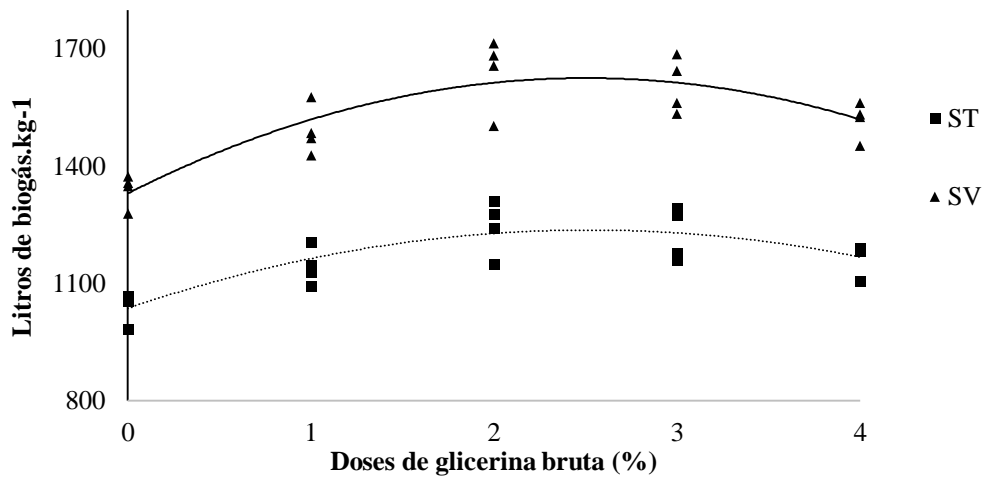


Figura 3. Produções específicas de biogás (em $L.kg^{-1}$) por ST e SV adicionados durante o processo de co-digestão de dejetos de galinhas poedeiras e doses crescentes de inclusão de glicerina bruta.

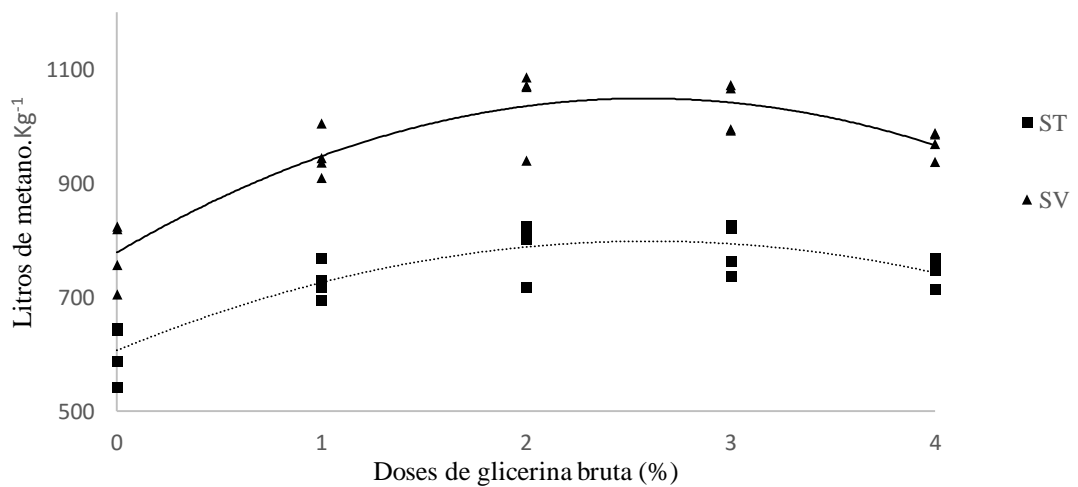


Figura 4. Produções específicas de metano (em $L.kg^{-1}$) por ST e SV adicionados durante o processo de co-digestão de dejetos de galinhas poedeiras e doses crescentes de inclusão de glicerina bruta.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

• COMPOSTAGEM

- Através dos resultados do estudo registrou-se dificuldades com relação ao controle do material inicial, constatando-se isto na primeira tentativa de ensaio, onde os dejetos apresentaram alta umidade devido ao vazamento de bebedouros e chuva que acabaram incidindo sobre os resíduos. Por conta disso, escolheu-se locais específicos para coleta e, o material foi pré-seco para que se pudesse chegar a umidade ideal e padrão para a condução do experimento
- O acréscimo de glicerina bruta ao processo resultou em valores de redução de massa significativos e em tempo reduzido, o que justifica o uso da mesma em sistemas de produção de aves de postura, com agregação de valor, redução do risco de contaminações pelos resíduos e adequação a legislação ambiental. O ponto mais importante quanto a agregação de valor ao material foi a redução nas perdas de nitrogênio pela inclusão da glicerina.
- Através destas reduções e considerando a maior retenção do nitrogênio, espera-se também que outros minerais apresentem maior concentração em um processo como este, portanto, com uma possível utilização deste como adubo para pastagem ou outra cultura, pode-se esperar melhores produtividades ou economia com outros adubos, considerando-se principalmente o nitrogênio.
- Salienta-se que a glicerina bruta utilizada apresentou altos níveis de impurezas, o que sugere que dificilmente esta seria aproveitada sem purificação de outras formas. Portanto, o processo indica uma saída importante para a glicerina de boa parte das indústrias brasileiras, que apresentam baixos níveis de glicerol. Sugere-se, além disso, o uso de glicerinas com maior grau de pureza, para que se possa observar a possibilidade de maiores ganhos.

• BIODIGESTÃO ANAERÓBIA

- O uso do glicerol pode implicar ganhos expressivos ao produtor. Os resultados, se mostrados para produtores com praticidade e com possíveis ganhos para os mesmos, devem despertar interesse, uma vez que o biogás e o metano que tiverem aumento expressivo de sua produção podem ser utilizados como fonte de energia

na propriedade, reduzindo custos com energia elétrica, aquecimento ou outras alternativas.

- Seria de interesse a utilização destas informações acerca da utilização da glicerina em biodigestores em políticas públicas, buscando investigar possíveis ganhos ambientais em determinada região. Para o país estes seriam interessantes, uma vez que a energia gerada poderia substituir energias não renováveis e, em larga escala, aliviaria o consumo de outras formas de energia, podendo ser importante ambientalmente e economicamente.
- A glicerina utilizada para a inclusão do glicerol apresentou baixos níveis de pureza, o que pode ter levado ao acréscimo de quantidade significativa de gordura, esta, pode ter desacelerado a produção de biogás e metano. Portanto, justifica-se a utilização de glicerinas com outros níveis de pureza em trabalhos futuros.
- Recomenda-se, também, que se façam trabalhos em biodigestores contínuos para que se possa analisar o efeito da quantidade de impurezas da glicerina adicionados sobre a taxa de degradação (que incorre em diferentes produções e necessidade de tempo para produção máxima) através da utilização de diferentes tempos de retenção hidráulica.