

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MATO GROSSO DO SUL
UNIDADE UNIVERSITÁRIA DE AQUIDAUANA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

PRODUÇÃO DE BIOGÁS POR DEJETOS DE SUÍNOS EM
CRESCIMENTO E TERMINAÇÃO ALIMENTADOS COM
DIFERENTES NÍVEIS DE ENERGIA LÍQUIDA

Acadêmica: Leide Daiana de Oliveira Arruda

Aquidauana – MS
Março/2017

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MATO GROSSO DO SUL
UNIDADE UNIVERSITÁRIA DE AQUIDAUANA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

PRODUÇÃO DE BIOGÁS POR DEJETOS DE SUÍNOS EM
CRESCIMENTO E TERMINAÇÃO ALIMENTADOS COM
DIFERENTES NÍVEIS DE ENERGIA LÍQUIDA

Acadêmica: Leide Daiana de Oliveira Arruda
Orientadora: Tânia Mara Baptista dos Santos

“Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, área de concentração em Produção Animal no Cerrado-Pantanal, na Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Zootecnia”.

Aquidauana – MS
Março/2017

A818p Arruda, Leide Daiana de Oliveira

Produção de biogás por dejetos de suínos em crescimento e terminação alimentados com diferentes níveis de energia líquida/ Leide Daiana de Oliveira Arruda. Aquidauana,MS : UEMS, 2017.

57p. ; 30cm.

Dissertação (Mestrado)- Zootecnia -Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, 2017.

Orientadora: Profa. Dra. Tânia Mara Baptista dos Santos.

1.Energia líquida 2.Digestão anaeróbia 3.Produção de biogás.I.Título.

CDD 23.ed. 665.776



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MATO GROSSO DO SUL
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA
PRODUÇÃO ANIMAL NO CERRADO-PANTANAL



LEIDE DAIANA DE OLIVEIRA ARRUDA

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, área de concentração em Produção Animal no Cerrado-Pantanal, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Zootecnia.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 23/03/2017.

Dra. Tânia Mara Baptista dos Santos - Orientadora.

Dr. Tiago Junior Pasquetti

Dr. Charles Kiefer

Aos meus pais pela dedicação, incentivo e apoio. Obrigada por sempre estarem ao meu lado me ensinando a lutar pelos meus ideais e objetivos.
A vocês Maria Eliza de Oliveira Arruda e Sebastião Orlando Carneiro de Arruda
(*in memoriam*)
Dedico.

AGRADECIMENTOS

À Deus pelo dom da vida. Pela minha fé, força de vontade, dedicação, paciência e perseverança durante minha especialização. “A caminhada é longa, mas basta ter fé, para dar o primeiro passo para que ela fique mais curta”.

À minha linda mãe Maria que sempre esteve ao meu lado nos momentos felizes, tristes e de conquistas. Minha eterna Rainha meus agradecimentos serão eternos.

Ao meu querido pai Tião (*in memorian*) que sempre manteve a fé em mim, me apoiou e mostrou o caminho certo. Sei que sempre estará zelando por mim. Meu eterno Rei meus agradecimentos serão eternos.

À minha família pelo apoio e incentivo.

Ao meu companheiro, amigo, e namorado Rafael Alves Tirabassi por toda ajuda, conselhos, carinho e alegrias. Obrigada por sempre estar ao meu lado.

As minhas amigas Laura Ávila, Elaine Mariza, Pamela do Nascimento e Lucy Mery que estão sempre ao meu lado. Deus me presenteou com irmãos de pais diferentes.

À Profa. Dr^a Tânia Mara Baptista dos Santos, pela orientação, broncas e conselhos durante os dois anos de mestrado. Agradeço pela contribuição na minha formação profissional.

À Profa. Dr^a Cristiane de Almeida Neves Xavier, pelos ensinamentos, paciência, conselhos, broncas e incentivo. Você é uma professora e amiga admirável, determinada e corajosa. Obrigada por toda a orientação durante minha pós-graduação.

À Profa. MSc Nanci Cappi por toda dedicação, ensinamentos e incentivo. A Sra é uma professora admirável e dedicada.

Ao Prof. Dr Tiago Junior Pasquetti pela disposição, colaboração, incentivo e conselhos durante a conclusão do mestrado.

Ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS) e PIBAP pela bolsa concedida.

Ao Prof. Dr Charles Kiefer e toda sua equipe pela ajuda e disponibilização do material para o experimento.

À todos os professores e funcionários pela contribuição e ensinamentos para minha formação, em especial o Químico e Técnico de laboratório Gustavo Ruivo Salmazzo e Profa. Dr^a Elis Regina de Moraes Garcia.

Aos meus companheiros e amigos Elaine Mariza e Willian Rufino Andrade do Laboratório de Qualidade da Água e Resíduos de Origem Animal, pela parceria, dedicação e força de vontade para realizar tudo que nos foi dado, sem a ajuda de vocês seria difícil concluir o experimento.

Às minhas amigas Fabiane Ortiz Coca, Kelly Carvalho e Larissa Vaso pela ajuda, paciência e disponibilidade em me ensinar.

Muito Obrigada!

SUMÁRIO

	Página
CAPITULO 1 – Considerações Gerais	01
1. INTRODUÇÃO	01
2. OBJETIVOS	03
2.1 Objetivo Geral	03
2.2 Objetivos Específicos	03
3. REVISÃO DE LITERATURA	03
3.1 Dejetos produzidos na criação suinícola	03
3.2 Energia líquida na alimentação de suínos	04
3.3 Digestão anaeróbia de dejetos de suínos	06
3.4 Fatores que interferem na eficiência da digestão anaeróbia	08
3.4.1 Componentes dos substratos	08
3.4.2 Temperatura	09
3.4.3 Potencial de Hidrogênio (pH)	10
3.4.4 Nitrogênio amoniacal	10
3.4.5 Alcalinidade	10
3.4.6 Tempo de Retenção Hidráulica	11
3.4.7 Inóculo	11
4. REFERÊNCIAS	13
CAPÍTULO 2 – DIGESTÃO ANAERÓBIA DE DEJETOS DE SUÍNOS ALIMENTADOS COM DIETAS CONTENDO DIFERENTES NÍVEIS DE ENERGIA LÍQUIDA	17
Resumo	17
Abstract	18
Introdução	19
Material e Métodos	20

Resultados e Discussão	26
Conclusão	37
Referências	38
CAPITULO 3 – CONSIDERAÇÕES FINAIS	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Composição das dietas experimentais para suínos machos castrados de acordo com o peso corporal	22
Tabela 2. Composição dos substratos das cargas diárias utilizados em digestores operados com dejetos de suínos, de diferentes pesos corporais, que receberam diferentes níveis de energia líquida na dieta	24
Tabela 3. Teores de sólidos totais (ST), sólidos voláteis (SV) e sólidos fixos (SF) dos dejetos de suínos, de diferentes pesos corporais, que receberam diferentes níveis de energia líquida na dieta	26
Tabela 4. Teores de sólidos totais (ST), sólidos voláteis (SV), sólidos fixos (SF), nitrogênio total (N total) e fósforo total (P total) dos substratos de digestores operados com dejetos de suínos, com diferentes pesos corporais, que receberam diferentes níveis de energia líquida	28
Tabela 5. Teores de sólidos totais (ST), sólidos voláteis (SV), sólidos fixos (SF), nitrogênio total (N total) e fósforo total (P total) dos efluentes de digestores operados com dejetos de suínos, com diferentes pesos corporais, que receberam diferentes níveis de energia líquida	30
Tabela 6. Potencial de hidrogênio (pH), nitrogênio amoniacal (NH ₃), alcalinidade parcial (AP), intermediária (AI) e total (AT) dos substratos de digestores operados com dejetos de suínos, com diferentes pesos corporais, que receberam diferentes níveis de energia líquida	31
Tabela 7. Potencial de hidrogênio (pH), nitrogênio amoniacal (NH ₃), alcalinidade parcial (AP), intermediária (AI) e total (AT) dos efluentes de digestores operados com dejetos de suínos, com diferentes pesos corporais, que receberam diferentes níveis de energia líquida	33
Tabela 8. Potenciais dos SV adicionados (m ³ kg ⁻¹) de dejetos de suínos, com diferentes pesos corporais, que receberam diferentes níveis de energia líquida na dieta	36

LISTA DE FIGURAS

Página

Figura 1. Produção de biogás por dejetos de suínos, com diferentes pesos corporais, que receberam diferentes níveis de energia líquida na dieta	35
---	----

Resumo

O objetivo do presente trabalho foi avaliar a eficiência do processo de digestão anaeróbia por dejetos de suínos em crescimento e terminação alimentados com dietas contendo diferentes níveis de 2300; 2380; 2460; 2540; 2620 e 2700 kcal kg⁻¹ de energia líquida (EL) na dieta e estimar as características químicas dos dejetos e efluentes com intuito de verificar a produção acumulada de biogás e potencial de produção de biogás dos dejetos de animais com diferentes pesos corporais (50, 70 e 100 kg). O experimento foi conduzido no Laboratório de Resíduos de Origem Animal da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Unidade Universitária de Aquidauana (MS). Analisaram-se qualitativamente os teores de sólidos totais (ST), sólidos voláteis (SV), sólidos fixos (SF), potencial de hidrogênio (pH), nitrogênio total (N - Total) e fósforo (P - total) dos dejetos. O ensaio de digestão anaeróbia foi conduzido em um período total de 130 dias dos quais 40 dias de partida e 90 dias de cargas diárias. Utilizaram-se 12 digestores semicontínuos, de bancada, com volume útil de 7,5 L. Foram realizadas análises semanais dos substratos e efluentes dos digestores mensurando-se os valores de pH, nitrogênio amoniacal (N amoniacal), alcalinidade parcial (AP), alcalinidade intermediária (AI) e a alcalinidade total (AT) e teores de ST, SV e SF, produção de biogás (m³) e potenciais de produção de biogás dos dejetos (m³kg⁻¹), e quinzenais para quantificação da concentração de N - total e P - total. Os dados de ST, SV e SF foram submetidos ao delineamento experimental inteiramente casualizado, em que os dados para cada peso corporal foram analisados separadamente, com seis tratamentos e quatro repetições; e os dados de potencial de produção de biogás dos SV adicionados nos digestores foram submetidos ao delineamento em blocos ao acaso em que as semanas de avaliação foram consideradas como cofator, com seis tratamentos e quatro blocos. Os dados também foram analisados separadamente por peso corporal. Para comparação de médias, foi realizado o teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Os níveis de energia líquida, de 2300 a 2700 kcal kg⁻¹ da dieta alteraram a composição dos dejetos quanto aos teores de ST e SF. Para N - total e P - total dos dejetos os animais na faixa de 100 kg de peso corporal apresentaram máximos teores de 0,81 a 1,88 %, respectivamente. Os valores dos parâmetros de monitoramento (pH, N

amoniaco e alcalinidade) apresentaram-se satisfatórios para o processo. Os teores de ST, SV e SF dos substratos e efluentes indicaram que houve degradação de parte da matéria orgânica durante o processo fermentativo. Após os 98 dias todos os tratamentos mantiveram-se em uma faixa de produção de biogás de 0,003 m³ até os 130 dias de operação. Conclui-se que dejetos de suínos com 100 kg que receberam níveis de EL de 2540, 2620 e 2700 kcal kg⁻¹ resultam em maior rendimento de biogás de 2,100; 1,613 e 1,468 m³ kg⁻¹ de SV adicionados. Os níveis de 2300 a 2700 kcal kg⁻¹ para suínos em crescimento e terminação não oferecem riscos de falência do processo de digestão anaeróbia.

Palavras – chave: aproveitamento energético, digestão anaeróbia, digestores, nutrientes, suinocultura

Abstract

The main goal of this project was to assess the anaerobic digestion process using swine manure from growing and finishing phase fed diet with different levels of 2300, 2380; 2460; 2540; 2620 and 2700 kg kcal⁻¹ net energy and also to estimate the chemicals parameters of effluents, total biogas production and biogas yield of manure from animals with different live body weight (50, 70 e 100 kg). The trial was carried out in the Laboratory of Animal Waste at the State University of Mato Grosso do Sul. It was assessed TS (Total solids), VS (Volatile solids), SS (Suspended solids), hydrogenionic potential (pH), Total nitrogen (Total – N) and Total phosphorous (Total – P). The essay of anaerobic digestion was carried out for 130 days in which 40 days comprise the start-up phase and 90 days of daily feeding. 12 semi-continuous digesters with capacity of 7.5 liters were used. Week analysis of the substrate and effluent of the digester were performed, it was measured: pH, ammonia nitrogen (TAN), parcial (PA), intermediate (IA) and total alkalinity (TA), and the amount of TS, VS and SS, biogas production (m³) and biogas yield (m³ kg⁻¹). To assess Total –N and Total P, biweekly analyses were performed. The data of TS, VS, FS were submitted to completely randomized design, in which the body weight were separately assessed, with six treatments and four replication; and the data of biogas yield of added VS were submitted to randomized complete block design in which the weeks were considered as cofactor, with six treatments and four blocks. The data was also evaluates individually by mean body weight (50, 70 and 100 kg of live body weight). The mean values were assessed through Scott-Knott test at 5% of probability. The different levels of net energy (2300 and 2700 kg⁻¹) showed influence in the qualitative characteristics of the manure in terms of TS, VS and SS. For Total –N and Total – P of the manure, animals with live body weight nearly to 100 kg had higher values of 0.81 and 1.88%, respectively. When it comes to monitoring parameters (pH, N ammonia and alkalinity) all of them were satisfactory to the process of anaerobic digestion. The amount of TS, VS and SS of the substrates and effluent indicated that there was anaerobic degradation of the organic matter fraction throughout the process.

After 98 days all treatments kept alike biogas production of 0.003 m³ until the day 130. We conclude that swine (of 100kg live body weight) manure from the phase of growing and finishing from pigs that had net energy in the diet of 2540, 2620 and 2700 kcal kg⁻¹ can yield higher biogas production of 2.100; 1.613 e 1.468 m³ kg⁻¹ of VS added. The different levels of net energy do not offer ricks to the anaerobic digestion process.

Keywords: anaerobic digestion, digester, energetic harnessing, nutrients, swine industry

CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS

1. INTRODUÇÃO

A expansão da suinocultura tem sido um dos fatores mais expressivos na balança econômica do Brasil, com isso são exigidas perspectivas de novos métodos tecnológicos para melhorar o desempenho dos animais e o valor do produto.

Além da importância e lucratividade da atividade há a preocupação em relação ao volume de dejetos gerados e qual o destino dos mesmos, considerando a nutrição um dos principais determinantes da produção de dejetos, sendo que estes contêm elevada carga de matéria orgânica, nutrientes, metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2).

As estratégias nutricionais são alternativas para redução do potencial poluidor, pois auxiliam no melhor aproveitamento de nutrientes ingeridos pelos animais e reduzem a excreção dos mesmos nos dejetos. Estudos baseados em conceitos nutricionais relatam que a escolha eficiente e o balanceamento dos ingredientes na dieta melhoram o metabolismo e absorção dos nutrientes para cada categoria animal (AFONSO et al., 2014).

Os usos de conceitos nutricionais auxiliam em uma melhora na eficiência alimentar e redução de excreção de nutrientes como o nitrogênio e fósforo presentes em excretas de animais. A formulação por energia líquida (EL) pode reduzir os custos energéticos da ingestão e digestão dos alimentos, além de interferir na composição dos dejetos (KIL et al., 2013). No entanto, são escassas as informações do uso e efeito da formulação por EL sobre as características dos dejetos e, consequentemente, os efeitos ao ambiente.

Uma vez que a variação dos níveis de EL na dieta pode interferir na quantidade e composição dos dejetos, é possível afirmar que ocorra interferência do uso da mesma em tratamentos físico-químicos e biológicos feitos para a reciclagem dos dejetos gerados na suinocultura.

A digestão anaeróbia, considerada como tratamento biológico é capaz de reduzir o poder poluente dos dejetos, pois estabiliza a matéria orgânica, reduz coliformes fecais e promove agregação de valor à atividade principal com a produção do biogás e do biofertilizante. Entretanto, este processo é

influenciado por vários fatores, um dos mais importantes é o tipo de substrato e qual sua composição, utilizada para carga dos digestores, pois influenciará no crescimento e desenvolvimento dos microrganismos responsáveis pela produção de biogás e qualidade dos biofertilizantes (FERNANDES, 2014).

Para a reciclagem dos dejetos são utilizados os digestores que conferem meio anaeróbio para o substrato fermentar, resultando subprodutos como o biogás, que pode ser utilizado como fonte alternativa de energia renovável e ambientalmente correta, e se tem como consequência a redução na emissão de gases de efeito estufa; e o biofertilizante como adubo que pode ser utilizado, inclusive, na adubação de lavouras que fornecerão os alimentos para os animais. Neste caso ocorre a reciclagem energética e de nutrientes dos próprios dejetos gerados na propriedade além da redução da carga orgânica (ZUPANCIC & GRILC, 2012).

Em face às quantidades de dejetos gerados diariamente e à composição destes, torna-se viável adequar sistemas que priorizem o uso de fontes energéticas e/ ou de nutrientes, com o objetivo de buscar meios para aliar incrementos na produtividade, redução de custos, composição dos dejetos e, na eficiência de tratamentos físico-químicos ou biológicos.

São escassos os dados na literatura sobre a utilização de diferentes níveis de EL em animais nas fases de crescimento e terminação e sua influência na composição dos resíduos gerados e como tais se comportam durante o processo de digestão anaeróbia.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Avaliar o processo de digestão anaeróbia por dejetos de suínos em crescimento e terminação alimentados com dietas contendo diferentes níveis de energia líquida (EL) e estimar as características químicas dos efluentes e a produção de biogás.

2.2. Objetivos Específicos

Monitorar as características químicas dos dejetos e do efluente com intuito de verificar a eficiência do processo de digestão anaeróbia; produção acumulada de biogás e potencial de produção de biogás dos dejetos.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Dejetos produzidos na criação suinícola

A suinocultura tem como principal característica o elevado número de suínos alojados nas unidades produtoras, gerando problemas ambientais intensos em regiões produtoras devido à grande produção de dejetos (AFONSO et al., 2014), os quais são preocupantes fontes de poluição ambiental, podendo contaminar fontes hídricas e solo, quando não tratados corretamente.

Os dejetos de suínos são constituídos de esterco, urina, pelos, resíduos de dietas, água e poeira das instalações. Sua composição e quantidade dependem do manejo adotado, fatores zootécnicos, ambientais e dietéticos (SILVA et al., 2015).

Os resíduos produzidos pelos animais contêm fezes que, normalmente, se apresentam na forma pastosa ou sólida, e contêm matéria orgânica, nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, sódio, magnésio, manganês, ferro, zinco, cobre e outros elementos incluídos nas dietas dos animais (CANCELIER et al., 2015).

A quantidade total de dejetos produzidos por um suíno varia de acordo com o aproveitamento de nutrientes presentes nas dietas, do seu metabolismo

e desenvolvimento, podendo apresentar valores decrescentes, de 8,5 a 4,9%, em relação a seu peso corporal por dia para a faixa de 15 a 100 kg (BUHRING & SILVEIRA, 2016).

De acordo com o mesmo autor um dos componentes que influi no volume dos dejetos é a produção de urina que, por sua vez, depende diretamente da quantidade de água ingerida. Suínos em crescimento e terminação consomem em média 5,5 L de água/animal/dia e produzem 2,0 a 2,5 L de urina por dia.

A urina e as fezes dos animais contêm alto teor poluente, pois emitem gases voláteis. De acordo com LOPES et al. (2013), o carbamato de amônia é um composto presente nos dejetos suínos, de odor desagradável, que dissolve-se nos gases de amônia (NH_3) e dióxido de carbono (CO_2), provocando efeitos adversos em humanos e animais, como irritação ocular, nasal e de pele.

Outros fatores que contribuem para o aumento de dejetos e seu potencial poluidor são o uso excessivo de água na higienização das instalações e a criação de um número alto de animais totalmente confinados em pequenas áreas, reduzindo a área de disposição destes resíduos (SILVA et al., 2015).

Os nutrientes presentes nas dietas alimentares podem ser eliminados através das fezes e urina em maiores ou menores quantidades, tornando-se potenciais agentes poluidores devido a elementos minerais como o nitrogênio (N), fósforo (P), cobre (Cu) e zinco (Zn) (FERNANDES, 2012).

Diante disto, o uso da EL na dieta tem como finalidade atender às exigências dos animais, melhorar o aproveitamento de nutrientes ofertados e, conseqüentemente, a diminuição do alto poder poluente causado por nutrientes excretados via dejetos.

3.2. Energia líquida na alimentação de suínos

A energia presente nos alimentos é um dos fatores mais importantes a ser considerado na nutrição animal, pois é o componente fundamental na elaboração de dietas. A eficiência com que o organismo consegue obter energia varia entre os diferentes nutrientes, pois a energia não é considerada um nutriente, uma vez que diversos componentes do alimento podem fornecer

energia aos animais. Então, fatores como idade, sexo, categoria animal, densidade de alojamento, desafio sanitário e estado fisiológico, também interferem na utilização de energia encontrada nos nutrientes (ROSA, 2013).

O aumento na densidade energética das dietas tem como objetivo melhorar o desempenho e a qualidade de carcaça dos animais. Os nutricionistas formulam dietas de suínos com base na energia digestível (ED) e metabolizável (EM), mas boa parte da energia contida nestes dois sistemas é perdida na urina. Portanto, a formulação de dietas com base na energia líquida (EL) é utilizada em dietas de suínos para estimar a quantidade de energia verdadeira necessária para manutenção e produção, já que nela estão consideradas perdas calóricas (GUTIERREZ & PATIENCE, 2012).

As respostas de desempenho e características quantitativas e qualitativas dos animais em função dos níveis energéticos das dietas são fundamentais para se estabelecer estratégias de alimentação adequadas para cada fase de produção. Todavia, há grande carência na literatura nacional das respostas e efeitos da formulação de dietas com base em EL na produtividade dos suínos (GONÇALVES et al., 2015). Outro fator importante relacionado com a nutrição é a composição dos dejetos excretados por animais que recebem alimentos alternativos nas dietas, pois além de considerar o desempenho dos animais, é necessário estimar o quanto de nutriente o animal está excretando.

O aumento da densidade energética das dietas através da adição de óleo pode influenciar no desempenho dos suínos em fase de crescimento e terminação de acordo com suas necessidades energéticas e o controle da saciedade sobre o centro da fome, controlando, assim, o consumo alimentar e consequentemente, maior atuação das enzimas digestivas devido ao aumento do tempo de retenção da dieta no trato gastrointestinal (HINSON et al., 2011).

O volume e composição dos dejetos de suínos são influenciados pela quantidade, composição e forma física (sólido, pastoso e líquido) do alimento. O aproveitamento dos nutrientes presentes na dieta é realizado com pouca eficiência por parte do suíno, sendo utilizados em torno de 45 a 60% do nitrogênio, 50 a 80% do fósforo e cálcio. Aproximadamente 70 a 95% do cobre, zinco, potássio, sódio, magnésio, manganês e ferro consumidos são excretados pelos suínos (CANCELIER et al., 2015).

Além dos benefícios do uso da energia na dieta, rações formuladas com redução de proteína bruta (PB), devidamente suplementadas com aminoácidos, estão relacionadas à redução da excreção de nitrogênio pelos suínos. MOEHN et al. (2013) verificaram diminuição na excreção de nitrogênio nas fezes e urina de suínos em terminação que receberam dietas com baixa PB em relação aos que receberam dietas com alta PB. Ainda neste mesmo estudo, estes autores observaram que a ingestão de nitrogênio tem efeito linear negativo sobre o conteúdo de EL da dieta.

As composições dos dejetos interferem na eficiência do processo de tratamento físico-químico ou biológico do mesmo. COCA et al. (2016) observaram que, conforme aumentaram os níveis de EL na dieta de suínos em terminação, diminuíram-se os teores de ST e aumentaram-se os teores de SV dos dejetos; dessa forma, concluíram que esta diferença pode ser devida às diferentes percentagens de ingredientes (PB, cálcio, fósforo disponível e aminoácidos) na formulação das dietas.

3.3. Digestão anaeróbia dos dejetos de suínos

Nos últimos anos a digestão anaeróbia tornou-se uma escolha importante para o tratamento de resíduos orgânicos em todo o mundo. A opção é bem adequada para diversos resíduos orgânicos biodegradáveis com elevado teor de água (mais de 80%), obtendo-se biogás rico em metano para a produção de energia renovável (ZUPANCIC & GRILC, 2012).

A digestão anaeróbia é o processo no qual ocorre a redução do poder poluente e dos riscos sanitários de resíduos gerados por suínos. Neste tratamento ocorre a degradação biológica do dejetos por microrganismos anaeróbios, resultando em um material estável e isento de organismos patogênicos, como os gases metano e dióxido de carbono (FERNANDES, 2014).

A digestão anaeróbia ocorre nas fases de hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese. Na fase de hidrólise acontece a conversão de materiais particulados em materiais dissolvidos, mais simples, pela ação de exoenzimas excretadas pelas bactérias fermentativas hidrolíticas. Na fase de acidogênese, ocorre a hidrólise no interior das células de bactérias

fermentativas, havendo a conversão em compostos mais simples (ácidos graxos voláteis, gás carbônico, hidrogênio, amônia, entre outros). Na fase seguinte, as bactérias acetogênicas, por meio da oxidação dos produtos gerados na fase acidogênica, produzem o substrato para as arqueas metanogênicas, responsáveis pela metanogênese. Esta fase é a etapa final do processo de digestão anaeróbia e tem como produtos finais, metano e dióxido de carbono (KRANERT et al., 2012).

Os digestores apresentam-se como boa alternativa para realizar o processo de digestão anaeróbia. Sua utilização contribui para o aproveitamento dos dejetos e propicia benefícios como saneamento no meio rural, atendendo a demanda energética pela utilização do biogás e do material biodegradado como fertilizante do solo.

A utilização de digestores para tratamento de dejetos em granjas de suínos é uma realidade atual no Brasil, uma vez que possibilita ao produtor obter reduções certificadas de emissões de gases que causam o efeito estufa (DIAS et al., 2013).

Considerados como câmaras que realizam a fermentação do material orgânico, os digestores anaeróbios, além de tratar os dejetos, possibilitam a recuperação e o armazenamento do biogás e a utilização do efluente como biofertilizante (SILVA et al., 2012).

O biogás é uma mistura de gases, em que o metano e o dióxido de carbono estão em maiores proporções, cerca de 60 e 40%, respectivamente. No entanto, sua decomposição varia de acordo com o tipo e a quantidade de biomassa empregada, fatores climáticos, dimensões do digestor, entre outros. É caracterizado por ser um produto gerado da decomposição anaeróbia de resíduos orgânicos. Sua geração tem capacidade de melhorar o ambiente, transformando dejetos causadores de poluição em energia útil (FARIA, 2012).

Um sistema de biogás de boa qualidade pode render benefícios para pequenas e grandes criações suinícolas, que incluem: produção de energia, transformação dos dejetos em adubo de alta qualidade, redução de patógenos, proteção da água do solo e benefícios micro e macroeconômicos através de substituição de energia (BLUEMLING et al., 2013).

O biofertilizante é o produto final do processo de digestão anaeróbia, de extrema importância como o próprio biogás. É resultante da matéria

orgânica, que pode ser usado na aplicação em solos. Possui qualidade de condicionador do solo, reciclagem do ambiente, e também redução de moscas e odores do ambiente (FERNANDES, 2014).

Um estudo realizado por AVACI et al. (2013), em uma granja comercial, em que foram determinados os insumos obtidos da biomassa residual da suinocultura (biogás, biofertilizante, créditos de carbono e energia elétrica), demonstraram que a venda de créditos de carbono reduz significativamente o custo de produção de energia elétrica, em aproximadamente 60%, bem como os gastos com fertilizantes convencionais ao substituí-los pelo biofertilizante produzido junto com o biogás em digestores.

Diante da importância do uso do biogás e biofertilizante em propriedades rurais e granjas produtoras de suínos, o mercado vem implantando projetos que viabilizem economicamente e que diminuam fatores que possam interferir negativamente no uso destes produtos.

3.4. Fatores que interferem na eficiência da digestão anaeróbia

O processo de digestão anaeróbia é influenciado por vários fatores que favorecem ou não o início do processo, como a degradação dos substratos utilizados para a carga, o crescimento e declínio dos microrganismos e, por fim, a qualidade dos produtos finais (biogás e o biofertilizante).

Portanto, pode-se considerar que o processo de digestão anaeróbia é bastante exigente e necessita de controle de alguns fatores para que haja melhor aproveitamento do sistema de digestor.

3.4.1. Componentes dos substratos

Para que o processo de digestão anaeróbia ocorra de forma adequada é necessário que os componentes dos substratos apresentem nutrientes suficientes para o crescimento e desenvolvimento dos microrganismos. Os resíduos podem ser de origem animal ou vegetal oriundos da agropecuária, ambiente doméstico ou industrial. Os mesmos são utilizados como matéria-prima para as metanogênicas produzirem biogás; portanto, é imprescindível a escolha correta do tipo de resíduo (PEREIRA et al., 2015).

O carbono, nitrogênio e fósforo são essenciais para todos os processos biológicos. A quantidade de N e P necessária para a degradação da matéria orgânica presente nos substratos depende da eficiência dos microrganismos em obter energia para a síntese, com base nas reações bioquímicas de oxidação do substrato orgânico (ABBASI et al., 2012).

A quantidade dos nutrientes varia de acordo com sua necessidade e, se este não atingir a concentração mínima exigida, pode limitar o crescimento dos microrganismos. No entanto, quando a concentração do nutriente excede um determinado valor, torna-se tóxica, inibindo a atividade e o crescimento bacteriano (FERNANDES, 2012).

Na digestão anaeróbia a relação carbono/nitrogênio deve ser de 20/30. Quando esta relação está desapropriada, o nitrogênio é consumido rapidamente pelas metanogênicas para suprir as necessidades de proteínas e já não está disponível para reagir com o teor de carbono presente no material; como resultado, a produção de biogás não é eficaz (ABBASI et al., 2012).

3.4.2. Temperatura

A temperatura interna dos digestores deve ser controlada para que se atinja um processo eficiente. No início da digestão anaeróbia a temperatura já exerce influência sobre a velocidade do desenvolvimento dos microrganismos e na solubilidade dos substratos, seja ela positiva ou negativa, dividindo-a em três faixas: a termofílica (45 e 70°C); a mesofílica (20 e 45°) e a psicofílica (abaixo de 20°C). As bactérias metanogênicas, que são responsáveis pela produção de biogás, são muito sensíveis a rápida variação de temperatura. Uma variação de 3°C já é o suficiente para causar a morte da maioria das bactérias, conforme afirma METZ (2013).

Os microrganismos se desenvolvem melhor em temperaturas mais elevadas, em torno de 28°C a 35°C. Adequar a temperatura do ambiente é indispensável, pois mudanças bruscas afetam todo o processo.

3.4.3. Potencial de Hidrogênio (pH)

O pH deve estar dentro da faixa ideal, entre 6,0 à 8,0, próximo à neutralidade (MASSOTI, 2013). Os microrganismos são sensíveis ao pH do meio durante todo o processo de digestão anaeróbia e a população mais sensível são os microrganismos metanogênicos.

Quando algum composto apresenta-se em altas concentrações pode ser tóxico, e eliminar as bactérias decompositoras, comprometendo o processo de produção do biogás.

3.4.4. Nitrogênio amoniacal

Existem algumas substâncias que são tóxicas aos processos de digestão anaeróbia. A amônia livre, os ácidos graxos voláteis (AGV), o hidrogênio, os sulfatos, os sulfetos e os cátions. Entre estes inibidores a amônia livre e AGV são os mais comuns.

A amônia é produzida pela degradação biológica de material nitrogenado, principalmente sob a forma de proteínas, ureia e ácidos nucleicos. O íon amônia (NH_4^+) e a amônia livre (NH_3) são produzidos pela degradação de compostos nitrogenados, e podem atuar inibindo o sistema por meio do aumento da exigência de energia de manutenção e mudanças de pH intracelular dos microrganismos. A inibição do processo por AGV está associada ao pH, ou seja, os baixos valores de pH estão associados a altas concentrações de AGV, causando falência do processo (MASSOTI, 2013).

Entretanto, estas substâncias tóxicas são influenciadas pelo tipo de substrato, pelo inóculo, e pelas condições ambientais como pH, temperatura e períodos de aclimação.

3.4.5. Alcalinidade

A alcalinidade é considerada como a capacidade do sistema de suportar e amortizar a presença de ácidos, sem diminuir o pH. Isto ocorre devido à presença de íons hidróxidos (OH^-), carbonatos (CO_3^{2-}) e bicarbonatos

(H_2CO_3^-), criando um efeito “tampão”. Para a digestão anaeróbia, o valor recomendado está entre 1500 e 7500 mg CaCO_3L . (PEREIRA et al., 2015)

De acordo com o mesmo autor, a alcalinidade ocorre em três fases: alcalinidade parcial; alcalinidade intermediária e alcalinidade total. A alcalinidade parcial está relacionada com a presença de íons bicarbonato responsáveis pelo tamponamento do sistema no valor de pH desejado para as atividades biológicas. A alcalinidade intermediária está relacionada aos ácidos voláteis e a alcalinidade total correlaciona compostos capazes de neutralizar ácidos e íons carbonatos, bicarbonatos e os ácidos orgânicos voláteis.

3.4.6. Tempo de Retenção Hidráulica (TRH)

No processo de digestão anaeróbia, o tempo de retenção hidráulica (TRH) é considerado o tempo necessário para que ocorra uma adequada degradação e fermentação dos substratos, para que os microrganismos se desenvolvam.

O TRH influencia no rendimento do digestor. Isso porque a retirada precoce do substrato do digestor resulta em ineficiência pela não utilização de todo o potencial da matéria orgânica, enquanto a retirada tardia significa ineficiência por perda de tempo desnecessária (METZ, 2013).

De acordo com o referido autor os digestores são construídos com uma capacidade limite de absorção de matéria orgânica diária. Se há excesso de carga no digestor, não há tempo hábil para as bactérias realizarem a degradação da matéria. Neste caso, a produção de biogás começa a ficar deficiente e o biofertilizante produzido é de má qualidade e mau cheiro. Logo, é muito importante conhecer o volume do digestor e a sua capacidade de alimentação diária e não ultrapassar estes limites.

3.4.7. Inóculo

O inóculo é a reutilização de parte do material que já passou por algum processo, e tem como finalidade fornecer ao novo substrato uma população adicional de microrganismos típicos da digestão anaeróbia. O início de

operação de um digestor consiste em aspecto crucial do tratamento de resíduos.

O inóculo é utilizado em digestores com estabilidade de funcionamento tardio, como por exemplo, os digestores do tipo batelada, em que o inóculo permite redução significativa do tempo de início da operação do digestor, ou seja, a degradação do substrato é mais rápida (ZANATO, 2014).

O ponto chave na partida do processo de digestão anaeróbia está relacionado com a existência de uma população microbiana adaptada ao resíduo em questão, que pode ser suprida por microrganismos presentes no próprio resíduo (inóculo natural), ou pode ser introduzida no digestor por meio da utilização de inóculos de outras fontes (PEREIRA et al., 2015).

O inóculo tem origem de processos realizados com dejetos de diferentes espécies, e observa-se, na prática, melhor desempenho em digestores que receberam inóculo de dejetos de bovinos e de suínos.

4. REFERÊNCIAS

ABBASI, T., TAUSEFF, S. M., ABBASI, S. A. **Biogas energy**. New York Dordrecht Heidelberg London: Springer, 2012. ed. 2, p.180.(Series Springer).

AFONSO, E.R.; PALHARES, J.C.P.; GAMEIRO, A.H. Impacto de estratégias nutricionais na redução da excreção de nutrientes. In: III SIMPÓSIO DE SUSTENTABILIDADE & CIÊNCIA ANIMAL, 4, 2014, São Paulo. **Anais...**São Paulo: Sustentabilidade & Ciência Animal, 2014. 1 CD-ROM.

AVACI, A. B.; SOUZA, S. N. M.; CHAVES, L. I.; NOGUEIRA, C. E. C.; NIEDZIALKOSKI, R. K.;SECCO, D. Avaliação econômico-financeira da microgeração de energia elétrica proveniente de biogás da suinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 4, p. 456-462. 2013.

BUHRING, G.M.B.; SILVEIRA, V.C.P. O biogás e a produção de suínos do sul do Brasil. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v.5, n.2, p.222-237. 2016.

BLUEMLING, B.; MOL, A.P.J.; TU, Q.The social organization of agricultural biogas production and use.**Energy Policy**, v. 63, p. 10-17. 2013.

CANCELIER, A.; SOTO, U.P.D.; COSTELLI, M.C.; LOPES, J.T.; SILVA, A. Avaliação da produção de biogás de resíduos de suínos utilizando metodologia de superfície de resposta. **Engenharia Sanitária e Ambiental**,v.20, n.2, p. 209-217. 2015.

COCA, F.O.C.G.; XAVIER, C.A.N.; ANDRADE, W.R.; ARRUDA, L.D.O.; GONÇALVES, L.M.P.; KIEFER, C.; SANTOS, T.M.B. Produção de biogás com dejetos de suínos – efeito de energia líquida e ractopamina da dieta. **Archivos de Zootecnia**, v.65, p.507-512. 2016.

DIAS, A. I. A.; COLEN, F.; FERNANDES, L. A.; SOUZA, R.M.; BUENO, O.C. Viabilidade econômica do uso do biogás proveniente da suinocultura, em substituição a fontes externas de energia. **Energia na Agricultura**, vol. 28, n.3, p.155-164. 2013.

FARIA, R.A.P. **Avaliação do potencial de geração de biogás e de produção de energia a partir da remoção da carga orgânica de uma estação de tratamento de esgoto – estudo de caso**. 2012. 63 f. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Faculdade Ciências Agrárias, Paraná, 2012.

FERNANDES, D. M. **Biomassa de biogás da suinocultura**. 2012. 209 f. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, Paraná, 2012.

FERNANDES, D.M. Processo de biodigestão anaeróbia em uma granja de suíno. **Ambiência**, v.10, n.3, p. 741-754. 2014.

GONÇALVES, L.M.P.; KIEFER, C.; SOUZA, K.M.R.; MARÇAL, D.A.; ABREU, R.C.; SILVA, A.M.P.; ALENCAR, S.A.S. Net energy levels for finish ed castrated male pigs. **Ciência rural**, v.45, n.3, p.464-469. 2015.

GUTIERREZ, N.A.; PATIENCE, J.F.The metabolic basis of feed-energy efficiency in swine.**Allen Leman Conference**,v. 39, p.19-26. 2012.

HINSON, R.B., WIEGNAND, B.R., RITTER, M.J., ALLE, G.L., CARR, S.N. Impact of dietary energy level and ractopamina on growth performance, carcass characteristics, and meat quality of finishing pigs. **Journal of Animal Science**, v.89, p.3725-3579. 2011.

KIL, D.Y.; KIM, B.G.; STEIN, H.H. Feed energy evaluation for growing pigs.**Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v. 26, p. 1205–1217. 2013.

KRANERT, M.; KUSCH, S.; HUANG, J.; FISCHER, K. **Anaerobic digestion of waste**. In: KARAGIANNIDIS, A. Waste to Energy- opportunities and challenges for developing and transition economies. New York: Springer, 2012. p. 107-135. (Series Springer).

LOPES, C. R. M.; FILHO, N.R.A.; ALVES, M.I.R.A. Impactos ambientais e sociais causados por voláteis emanados por excretos de suínos. **Enciclopédia Biosfera, Centro Científico conhecer**, v.9, n.17, p. 3557. 2013.

MASSOTTI, Z. Viabilidade técnica e econômica do biogás a nível de propriedade. **Engenharia Agrícola**, p. 102-108. 2013.

METZ, H.L. **Construção de um biodigestor caseiro para a demonstração da produção de biogás e biofertilizante em escolas situadas em meios urbanos**. 2013. 38 f. Dissertação (Formas Alternativas de Energia) - Universidade Federal de Lavras, Faculdade Especialista em Alternativas de Energia, Lavras, 2013.

MOEHN, S.; LEVESQUE, C.L.; BALL, R.O. Protein intake but not feed intake affects dietary energy for finishing pigs. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, v. 97, p. 197–204. 2013.

PEREIRA, V. J. M.; FERREIRA, JR.; MARTINEZ, G. A. S.; TOMACHUK, C. R. Avaliação de sistema de colunas para remediação de biogás a partir de biomassa não digerida. **Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo: HOLOS**, vol. 8, ano 3. 2015.

ROSA, R. A. **Ractopamina em dietas com ajustes nutricionais para suínos machos castrados em terminação sob clima quente**. 2013. 33f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2013.

SILVA, W.T.; NOVAES, A.P.; KUROKI, V.; MARTELLI, L.F.A.; MAGNONI JR, L. Avaliação físico-química de efluente gerado em biodigestor anaeróbio para

fins de avaliação de eficiência e aplicação como fertilizante agrícola. **Química Nova**, v.35, n.1, p. 35 – 40, 2012.

SILVA, C.M., FRANÇA, M.T., OYAMADA, G.C. Características da suinocultura e os dejetos causados ao ambiente. **Ciências Econômicas do UNIVAG**, n.12, p.44-59, 2015.

ZANATO, J.A.F. **Produção e qualidade do biogás gerado com os dejetos de diferentes espécies animais**. 2014. 130f. Tese (Doutorado apresentado à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias), UNESP, Jaboticabal, 2014.

ZUPANCIC, G. D.; GRILC, V. **Anaerobic treatment and biogas production from organic waste**. In: Management of organic waste. Editado por Sunil Kumar e publicado por INTECH, cidade de Rijeka, Slovenia: Institute for Environmental Protection and Sensors, 198 p. 2012.

CAPÍTULO 2 – DIGESTÃO ANAERÓBIA DE DEJETOS DE SUÍNOS ALIMENTADOS COM DIETAS CONTENDO DIFERENTES NÍVEIS DE ENERGIA LÍQUIDA

Arruda, L.D.O; Santos, T.M.B.

Redigido conforme normas da Revista Engenharia Agrícola.

Resumo

Objetivou-se avaliar o processo de digestão anaeróbia de dejetos de suínos com diferentes pesos vivos (50, 70 e 100 kg) que receberam níveis de 2300, 2380, 2460, 2540, 2620 e 2700 kcal kg⁻¹ de energia líquida (EL) na dieta. Analisaram-se teores de sólidos totais (ST), sólidos voláteis (SV), sólidos fixos (SF), potencial de hidrogênio (pH), nitrogênio total (N-Total) e fósforo (P-total) dos dejetos. Foram utilizados 12 digestores semicontínuos de bancada, e realizadas as análises de pH, nitrogênio amoniacal (N amoniacal), alcalinidade parcial (AP), alcalinidade intermediária (AI) e a alcalinidade total (AT); teores de ST, SV, SF, N-total e P-total (substratos e efluentes) e produção e potenciais de produção de biogás dos dejetos (m³kg⁻¹). Os dados de teores de sólidos dos dejetos foram submetidos ao delineamento experimental inteiramente casualizado e os potenciais de produção de biogás dos SV adicionados ao delineamento em blocos ao acaso. Os níveis de EL de 2300 a 2700 kcal kg⁻¹ na dieta alteraram a composição dos dejetos quanto aos teores de ST e SF. Os valores de monitoramento foram satisfatórios para o processo. Dejetos de suínos com 100 kg que receberam níveis de EL de 2540, 2620 e 2700 kcal kg⁻¹ resultam em maior rendimento de biogás de 2,100; 1,613 e 1,468 m³ kg⁻¹ de SV adicionados. Os níveis de 2300 a 2700 kcal kg⁻¹ para suínos em crescimento e terminação não oferecem riscos de falência do processo de digestão anaeróbia.

Palavras-chave: efluente, fósforo, nitrogênio, substrato, potencial de produção de biogás

Abstract

The main goal was to evaluate the anaerobic digestion process of swine manure from animals with different live body weight (50, 70 e 100 kg), and that received levels of 2300, 2380, 2460, 2540 and 2700 kcal kg⁻¹ of net energy in the daily feed. It was assessed qualitative parameters of the manure such as TS (Total solids), VS (Volatile solids), SS (Suspended solids), hydrogenionic potential (pH), Total nitrogen (Total – N) and Total phosphorous (Total – P). To perform the essay of anaerobic digestion 12 semi-continuous anaerobic digesters were used and monitoring analyses were performed such as pH, ammonia nitrogen (TAN), parcial (PA), intermediate (IA) and total alkalinity (TA), and the amount of TS, VS, SS Total-N and Total-P (for substrates and effluent), biogas production (m³) and biogas yield (m³ kg⁻¹). The manure solids content was submitted to completely randomized design and the biogas yield of VS added to the randomized complete block design. The different levels of net energy from 2300 to 2700 kcal kg⁻¹ had influence on the qualitative characteristics of manure in terms of TS, VS, and SS. The values of monitoring parameters were satisfactory to the process of anaerobic digestion. Swine manure from the phase of growing and finishing from pigs that had 2540, 2620 and 2700 kcal kg⁻¹ had the higher amounts of biogas yield of 2.100; 1.613 e 1.468 m³ kg⁻¹de VS added. The different levels of net energy do not offer ricks to the anaerobic digestion process.

Keywords: diet, effluent, nitrogen, phosphorous, substrate, volumetric biogas production

Introdução

A suinocultura brasileira é uma das atividades pecuárias que mais contribui para a deposição de nitrogênio e fósforo no meio ambiente. A consequência disso é o aporte de elevadas concentrações desses elementos na água, além do cálcio, fósforo, cobre, zinco e ferro, com isso o balanceamento de ingredientes na dieta dos animais é necessário para reduzir a excreção desses elementos (AFONSO et al., 2014).

O conhecimento do valor energético dos alimentos é fundamental do ponto de vista nutricional e econômico. Em geral, ao incrementar a energia líquida (EL) na dieta de suínos reduzem-se a ingestão e digestão dos alimentos, pois parte da energia metabolizável se perde nos processos de digestão, absorção e metabolismo dos nutrientes na forma de incremento calórico (KIL et al., 2013).

O ajuste das exigências dos animais não se limita somente aos ganhos zootécnicos, mas também à diminuição do poder poluente dos dejetos gerados. Também, fatores como número excessivo de animais alojados, vazamento de água e lavagem das instalações aumentam a quantidade de dejetos produzidos diariamente. Portanto, é necessária a busca e aplicação de técnicas voltadas à nutrição e ao manejo de resíduos da produção animal (BUHRING & SILVEIRA, 2016).

Por meio do processo de digestão anaeróbia em digestores, torna-se possível a remoção de materiais orgânicos presentes nos dejetos, proporcionando benefícios como saneamento no meio rural, atendimento da demanda energética por meio do uso do biogás e a utilização do material biodegradado como fertilizante do solo (FERNANDES, 2014).

O biogás possui alto potencial para a economia rural, uma vez que utiliza recursos endógenos. Com a produção do biogás em áreas rurais, a paisagem agrícola e também práticas agrícolas são transformadas, exigindo novas formas de organizar processos de produção de energia (BLUEMLING et al., 2013).

Os biofertilizantes ou efluentes são influenciados por vários fatores, então deve-se estabelecer parâmetros de controle, confiáveis e significativos. No caso dos dejetos de suínos, alguns parâmetros como: sólidos totais (ST) (conteúdo da matéria sólida contida nos dejetos e que permanece após a retirada da umidade); sólidos voláteis (SV) (fração de material orgânico); sólidos fixos (SF) (indicam o teor de sólidos minerais); e nutrientes (elementos que agregam valor agrônomo ao dejetos) indicam a qualidade do produto final (COLATTO & LANGER, 2012).

As quantidades de ST e SV nos efluentes indicam que ocorre degradação de considerável parte da matéria orgânica dos dejetos durante o processo de digestão anaeróbia. COCA et al. (2016) ao avaliarem o processo de digestão anaeróbia com dejetos de suínos em terminação que receberam diferentes níveis de EL na dieta, observaram que houve aumento na produção de biogás e nas potências de produção de biogás dos dejetos, conforme aumentaram os níveis de EL, e concluíram que os dejetos dos animais que receberam maiores níveis de EL também continham maiores quantidades de energia bruta, o que justifica a eficiência dos digestores ao produzirem biogás.

Diante do exposto, o presente trabalho foi conduzido com o objetivo de avaliar a eficiência do processo de digestão anaeróbia por dejetos de suínos em crescimento e terminação, que receberam diferentes níveis de energia líquida (EL) na dieta, estimando-se riscos de falência durante o processo e a produção de biogás.

Material e métodos

O experimento foi conduzido no Laboratório de Resíduos de Origem Animal, localizado na Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Unidade Universitária de Aquidauana (MS), cujas coordenadas geográficas são: Latitude 20° 28' S e Longitude 55° 48' W e Altitude de 184 metros, cujo clima apresenta duas estações, uma chuvosa (verão) e outra seca (inverno), com índice de temperatura média anual de 25° C.

Os dejetos foram coletados na Fazenda Escola da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), local cujo clima é tropical, com duas estações definidas, uma chuvosa (verão) e outra seca (inverno) com temperatura média anual de 26°C.

Foram avaliados dejetos de 80 suínos machos castrados, com alto potencial genético com diferentes pesos corporais de 50 kg, 70 kg e 100 kg. Os dejetos foram coletados nos dois últimos dias de cada fase experimental, em que a primeira coleta foi realizada quando os animais estavam com peso corporal de aproximadamente 50 kg, a segunda com 70 kg e a terceira com 100 kg, respectivamente.

Os animais foram alojados em galpão de alvenaria, coberto com telhas de cerâmica, piso de concreto, laterais teladas e equipadas com cortinas. As baias continham dimensões de 1,15 x 2,86m, equipadas com comedouros, fixos nos portões, bebedouros tipo nipple, fixos nas laterais e lâminas d'água localizadas na parte posterior das baias, com dimensões de 1,15 x 0,30 x 0,10m.

Para cada coleta, as lâminas d'água foram esvaziadas e as baias foram totalmente limpas, e desligado o registro d'água apenas das lâminas; após 24 horas os dejetos foram coletados diretamente das baias, através de raspagem do piso, evitando restos de rações, água, pelos e urina. Após este procedimento os dejetos foram pesados, acondicionados em sacos plásticos identificados e armazenados em congelador a temperatura de -20°C para análises laboratoriais.

A alimentação dos animais foi irrestrita, com dietas isoproteicas à base de milho e farelo de soja, suplementadas com minerais e vitaminas. As dietas foram formuladas para atender as exigências nutricionais propostas por ROSTAGNO et al. (2011), exceto para os diferentes níveis de EL que foram de 2.300; 2.380; 2.460; 2.540; 2.620 e 2.700 kcal kg⁻¹, os quais foram obtidos com a inclusão de óleo de soja em substituição ao caulim (Tabelas 1).

Tabela 1.Composição das dietas experimentais para suínos machos castrados de acordo com o peso corporal
 Table 1. Composition of the experimental diets for castrated male pigs according to body weight

Peso corporal (kg)	50						70						100					
EL (kcal kg ⁻¹ na dieta) ¹	2.300	2.380	2.460	2.540	2.620	2.700	2.300	2.380	2.460	2.540	2.620	2.700	2.300	2.380	2.460	2.540	2.620	2.700
Ingredientes																		
Milho	70,03	70,03	70,03	70,03	70,03	70,03	70,14	70,14	70,14	70,14	70,14	70,14	71,02	71,02	71,02	71,02	71,02	71,02
Farelo de soja	21,22	21,22	21,22	21,22	21,22	21,22	21,62	21,62	21,62	21,62	21,62	21,62	21,06	21,06	21,06	21,06	21,06	21,06
Óleo de soja	0,000	1,090	2,170	3,260	4,350	5,430	0,000	1,090	2,170	3,260	4,350	5,430	0,000	1,090	2,170	3,260	4,350	5,430
Caulim	5,500	4,410	3,330	2,240	1,160	0,070	5,750	4,630	3,540	2,460	1,370	0,280	5,750	4,660	3,580	2,490	1,400	0,320
Fosfato bicálcico	1,202	1,202	1,202	1,202	1,202	1,202	0,867	0,867	0,867	0,867	0,867	0,867	0,768	0,768	0,768	0,768	0,768	0,768
Calcário	0,699	0,699	0,699	0,699	0,699	0,699	0,601	0,601	0,601	0,601	0,601	0,601	0,568	0,568	0,568	0,568	0,568	0,568
Vit.+Min.Premix1	0,407	0,407	0,407	0,407	0,407	0,407	0,382	0,382	0,382	0,382	0,382	0,382	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400
Sal	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,357	0,357	0,357	0,357	0,357	0,357
L-Lisina HCL	0,338	0,338	0,338	0,338	0,338	0,338	0,191	0,191	0,191	0,191	0,191	0,191	0,078	0,078	0,078	0,078	0,078	0,078
DL-Metionina	0,099	0,099	0,099	0,099	0,099	0,099	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008
L-Treonina	0,097	0,097	0,097	0,097	0,097	0,097	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019	-	-	-	-	-	-
L-Triptofano	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Valor nutricional calculado																		
Proteína bruta (%)	15,55	15,55	15,55	15,55	15,55	15,55	15,50	15,50	15,50	15,50	15,50	15,50	15,19	15,19	15,19	15,19	15,19	15,19
EM (kcal kg ⁻¹)	3,034	3,134	3,224	3,314	3,404	3,494	3,036	3,126	3,216	3,306	3,396	3,486	3,040	3,130	3,220	3,310	3,400	3,490
Lisina digestível (%)	0,927	0,927	0,927	0,927	0,927	0,927	0,823	0,823	0,823	0,823	0,823	0,823	0,723	0,723	0,723	0,723	0,723	0,723
Met.+cist. Digestível (%)	0,547	0,547	0,547	0,547	0,547	0,547	0,486	0,486	0,486	0,486	0,486	0,486	0,458	0,458	0,458	0,458	0,458	0,458
Treonina digestível (%)	0,603	0,603	0,603	0,603	0,603	0,603	0,535	0,535	0,535	0,535	0,535	0,535	0,511	0,511	0,511	0,511	0,511	0,511
Triptofano digestível (%)	0,167	0,167	0,167	0,167	0,167	0,167	0,158	0,158	0,158	0,158	0,158	0,158	0,156	0,156	0,156	0,156	0,156	0,156
Valina digestível (%)	0,640	0,640	0,640	0,640	0,640	0,640	0,648	0,648	0,648	0,648	0,648	0,648	0,640	0,640	0,640	0,640	0,640	0,640
Ca (%)	0,630	0,630	0,630	0,630	0,630	0,630	0,512	0,512	0,512	0,512	0,512	0,512	0,474	0,474	0,474	0,474	0,474	0,474
Fósforo digestível (%)	0,311	0,311	0,311	0,311	0,311	0,311	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,231	0,231	0,231	0,231	0,231	0,231
Sódio (%)	0,180	0,180	0,180	0,180	0,180	0,180	0,170	0,170	0,170	0,170	0,170	0,170	0,160	0,160	0,160	0,160	0,160	0,160

¹EL=energia líquida; ²EM=energia metabolizável.

¹Conteúdo por kg de dieta: 9,2 mg de ácido pantotênico; Niacina 18,0 mg; Ácido fólico 0,5 mg; Cobre 15,0 mg; Ferro 0,10 g; Zinco 0,13 g; Iodo 1,0 mg; Selênio 0,3 mg; Manganês 0,05 g; Vitamina A 5.000 UI; Vitamina D3 1.000 UI; Vitamina E 25,0 UI; Vitamina K3 3,0 mg; Vitamina B1 2,2 mg, vitamina B2 5,5 mg; Vitamina B6 2,0 mg; Vitamina B12 20,0 mg; B.H.T and incipientq.s.p., 1 g.

Após cada coleta dos dejetos, foi medido o pH das amostras, por meio de potenciômetro analógico Q400A e realizadas análises dos teores de sólidos totais (ST), sólidos voláteis (SV) e sólidos fixos (SF) de acordo com APHA (2012) e de nitrogênio (N Total) pelo método semimicroKjeldhal de acordo com SILVA & QUEIROZ (2006).

Foram realizadas análises para a determinação da concentração de fósforo total (P total) dos dejetos utilizando-se digestão via seca das amostras e espectrofotometria (725 nm). A digestão via seca consistiu em calcinação de amostras moídas em mufla a 600° C por 3 horas; adição de 3 gotas até 0,5 mL de ácido clorídrico concentrado nas cinzas remanescentes; calcinação por mais 3 horas; digestão em bloco digestor com banho de areia a 200° C com adição de ácido clorídrico diluído em água (1: 1) por aproximadamente 30 minutos; diluição e estocagem das soluções, conforme descrito por PERKIN-ELMER (1996). O método colorimétrico baseou-se na formação de um composto amarelo do sistema vanadomolibdofosfórico em acidez de 0,2 a 1,6 N. A cor desenvolvida foi medida em espectrofotômetro, determinando-se assim a concentração de P das amostras, por meio da utilização de uma reta padrão traçada previamente com base nas concentrações conhecidas, entre 0 e 52µg de P mL⁻¹. Os padrões foram preparados de acordo com MALAVOLTA et al. (1991).

Para o processo de digestão anaeróbia, foram utilizados 12 digestores semicontínuos de bancada, construídos em policloreto de polivinila (PVC), constituídos de duas partes distintas, uma câmara de fermentação e o gasômetro. Cada digestor tinha capacidade de volume útil de 7,5 L de substrato em fermentação.

Os digestores foram operados por 130 dias, no período de Fevereiro a Junho/2017. Os primeiros 40 dias de partida foram necessários para o crescimento e desenvolvimento dos microorganismos para o processo de fermentação. Os dejetos utilizados para o substrato de partida foram coletados na granja de Suinocultura localizada em Terenos-MS.

Os substratos de partida e os substratos dos abastecimentos diários foram formulados para que contivessem aproximadamente 4% de ST. Cada digestor recebeu 0,750 kg de dejetos e 6,75 kg de água no período de partida. Foram adicionados 40 g de bicarbonato de sódio (NaHCO₃), a fim de

obter-se estabilidade do pH do meio e, conseqüentemente, um processo fermentativo adequado para os microrganismos, bactérias e metanogênicas responsáveis pela produção de metano.

Após 15 dias de partida, como não houve produção de biogás, foi realizada a descarga e homogeneização de todos os substratos. Posteriormente, realizou-se a recarga dos mesmos, com 5 L de substrato, e após os 40 dias da recarga dos digestores verificou-se a queima do biogás por meio da manutenção da chama em Bico de Bunsen, em todos os digestores e então foram iniciadas as cargas diárias.

Após o período de partida, os digestores foram operados com cargas diárias por 90 dias, com 13 dias de tempo de retenção hidráulica (TRH). Aos 41 dias de operação, os digestores foram abastecidos diariamente com dejetos de suínos com peso corporal de 50 kg, aos 70 dias, de 70 kg e aos 100 dias de 100 kg, respectivamente. Foi utilizado o bicarbonato de sódio para correção do pH (Tabela 2).

Tabela 2. Composição dos substratos e cargas diárias utilizados em digestores operados com dejetos de suínos, de diferentes pesos corporais, que receberam diferentes níveis de energia líquida na dieta
Table 2. Composition of substrates used in daily feed of the digesters operated with swine manure, of different body weight, that received different levels of net energy in the diet

Peso corporal (kg)	Níveis de energia	Dejetos (kg)	Água (kg)	NaHCO ₃ (g)
	líquida kcal kg ⁻¹			
50	2300	0,044	0,286	2,90
	2380	0,059	0,271	2,90
	2460	0,057	0,273	2,90
	2540	0,057	0,273	2,90
	2620	0,052	0,278	2,90
	2700	0,048	0,282	2,90
70	2300	0,053	0,277	2,90
	2380	0,061	0,269	2,90
	2460	0,063	0,266	2,90
	2540	0,059	0,271	2,90
	2620	0,059	0,271	2,90
	2700	0,060	0,270	2,90
100	2300	0,052	0,278	2,90
	2380	0,050	0,281	2,90
	2460	0,050	0,281	2,90
	2540	0,044	0,286	2,90
	2620	0,057	0,273	2,90
	2700	0,057	0,273	2,90

Durante o experimento foram coletadas diariamente amostras dos substratos e efluentes, para determinação dos teores de ST, SV e SF, seguindo a metodologia descrita por APHA (2012); e semanalmente mensurou-se valores de pH por meio de potenciômetro digital, nitrogênio amoniacal (N amoniacal), determinado segundo a metodologia descrita por APHA (2012), e os valores de alcalinidade parcial (AP), alcalinidade intermediária (AI) e alcalinidade total (AT), conforme RIPLEY et al. (1986) e JENKINS et al. (1991).

Quinzenalmente foram realizadas análises dos substratos e efluentes para a quantificação da concentração de nitrogênio total (N-total) pelo método semimicroKjeldhal, seguindo a metodologia descrita por SILVA & QUEIROZ (2006) e de fósforo total utilizando-se digestão via seca das amostras por PERKIN-ELMER (1996) e espectrofotometria (725 nm) por MALAVOLTA (1991).

Foram realizadas leituras das produções de biogás com base no deslocamento dos gasômetros, medido com régua de 50 cm. Após cada leitura os gasômetros foram zerados utilizando-se o registro de descarga do biogás.

Para correção do volume de biogás produzido, os valores obtidos nas leituras foram multiplicados pela área da seção transversal interna dos gasômetros. A correção do volume de biogás para as condições de 1 atm e 25°C, foi efetuada com base no trabalho de CAETANO (1985).

Para o cálculo dos potenciais de produção de biogás foram utilizados os dados de produção total de biogás de cada digestor. Os valores foram expressos em m³ de biogás por kg de SV.

Para verificar o efeito das dietas na qualidade dos dejetos, os dados de ST, SV e SF dos dejetos foram submetidos à análise de variância por meio do delineamento inteiramente casualizado, em que os dados para cada peso corporal foram analisados separadamente, com seis tratamentos (diferentes níveis de EL, 2300; 2380; 2460; 2540; 2620 e 2700 kcal kg⁻¹) e quatro repetições. Para comparação de médias, foi realizado o teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os dados de potencial de produção de biogás dos SV adicionados nos digestores foram submetidos à análise de variância por meio do delineamento em blocos ao acaso, em que as semanas de avaliação foram consideradas como cofator, com seis tratamentos e quatro blocos. Os

dados também foram analisados separadamente por peso corporal (50, 70 e 100 kg). Para comparação de médias, foi realizado o teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Resultados e Discussão

Não houve diferença entre os valores de ST dos dejetos de animais com 50 kg (Tabela 3). As dietas interferiram nos teores de ST dos dejetos de animais com 70 e 100 kg. Os níveis de EL de 2300, 2380 e 2460 kcal kg⁻¹ na dieta resultaram na produção de dejetos com maior teor de ST (319,12; 271,65 e 238,52 g kg⁻¹) para animais com 70 kg e os níveis de EL 2300 e 2380 kcal kg⁻¹ com maiores teores de 264,18 e 217,21 g kg⁻¹, para animais com 100 kg. Não houve diferença entre os teores de ST dos dejetos quando os animais receberam níveis mais elevados de EL.

Tabela 3. Teores de sólidos totais (ST), sólidos voláteis (SV) e sólidos fixos (SF) dos dejetos de suínos, de diferentes pesos corporais, que receberam diferentes níveis de energia líquida na dieta
Table 3. Total solids (TS), volatile solids (VS) and fixed solids (FS) content from swine manure with different body weight, which received different levels of net energy in the diet

Variáveis	Peso Corporal (kg)	Níveis de energia líquida (kcal kg ⁻¹)						Valor de P	CV (%) ¹
		2300	2380	2460	2540	2620	2700		
ST (g kg ⁻¹)	50	258,65	229,05	208,02	145,39	179,28	124,60	0,04	31,55
	70	319,12a	271,65a	238,52a	183,94b	185,66b	173,80b	<0,01	18,15
	100	264,18a	217,21a	183,57b	157,64b	133,81b	163,90b	<0,01	19,26
SV (g kg ⁻¹)	50	170,53	162,92	153,33	110,37	142,27	107,05	0,21	30,40
	70	199,84	177,55	166,47	136,69	143,57	143,47	0,05	18,33
	100	152,86	120,90	110,71	102,52	93,08	126,19	0,03	19,46
SF (g kg ⁻¹)	50	88,13a	66,13a	54,19b	35,03c	37,00c	17,01c	0,03	35,61
	70	119,29a	94,10b	72,06c	47,26d	42,09d	30,33d	<0,01	18,13
	100	111,33a	96,31a	72,86b	55,13b	40,73c	37,72c	<0,01	19,38

¹Coefficiente de variação. Médias seguidas de mesma letra na linha, não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

As dietas não interferiram nos teores de SV dos dejetos de animais de quaisquer pesos corporais.

Os menores níveis de EL, de 2300 e 2380 kcal kg⁻¹ proporcionaram maiores teores (88,13 e 66,13 g kg⁻¹) de SF nos dejetos de animais com peso corporal de 50 kg. Para animais com 70 kg, apenas o nível de EL de 2300 kcal kg⁻¹ promoveu maior teor (119,29 de g kg⁻¹) SF nos dejetos. E para animais com 100 kg os níveis de 2300 e 2380 kcal kg⁻¹ proporcionaram maiores teores (11,33 e 96,31 g kg⁻¹) de SF.

Verificou-se que as dietas interferiram na composição dos dejetos de suínos em crescimento e terminação e determinaram maiores ou menores teores de SF que são importantes do ponto de vista da utilização dos dejetos como fertilizantes orgânicos.

Os dejetos apresentaram valores de pH que variaram de 5,97 a 6,15 para animais com peso corporal de 50 kg; de 5,69 a 6,01 para 70 kg; e de 5,98 a 6,18 para 100 kg. O pH é um parâmetro crítico que deve ser monitorado em sistemas de tratamento biológico de resíduos de origem animal pois pode ocorrer acidificação do meio. Em virtude dos valores de pH serem menores que 6,2, acrescentou-se bicarbonato de sódio nos substratos da partida e cargas diárias dos digestores, com o objetivo de evitar a acidificação e manter o pH próximo da neutralidade.

Para animais com peso corporal de 50 kg as concentrações de N total nos dejetos variaram de 1,67 a 2,54; de 70 kg, de 1,71 a 2,45; e de 100 kg, de 1,44 a 2,96. As concentrações de P total variaram de 0,95 a 1,42, para dejetos de animais com peso corporal de 50 kg; de 1,20 a 1,35, para 70 kg; e de 0,81 a 1,88 para 100 kg. Dejetos de animais com 100 kg de peso corporal apresentaram os máximos teores de nitrogênio e fósforo observados.

A composição química dos dejetos pode ser relacionada com a qualidade dos substratos de digestores e, conseqüentemente, com o crescimento e desenvolvimento dos microrganismos responsáveis pela degradação da matéria orgânica durante o processo de digestão anaeróbia.

Houve diferença ($P < 0,05$) para os teores de ST, SV e SF dos substratos que receberam os diferentes níveis de EL (Tabela 4). Para os substratos contendo dejetos de animais com peso

corporal de 50 kg, o nível de 2540 kcal kg⁻¹ levou a um substrato com maior teor de ST (3,62%), enquanto o nível de 2300 kcal kg⁻¹ proporcionou menor teor de ST (2,37%).

Tabela 4. Teores de sólidos totais (ST), sólidos voláteis (SV), sólidos fixos (SF), nitrogênio total (N total) e fósforo total (P total) dos substratos de digestores operados com dejetos de suínos, com diferentes pesos corporais, que receberam diferentes níveis de energia líquida

Table 4. Total solids (TS), volatile solids (VS), fixed solids (FS), total nitrogen (total N) and total phosphorus (total P) content from substrate of digesters operated with swine manure, with different body weight, which received different levels of liquid energy

Variáveis	Peso Corporal (kg)	Níveis de energia líquida (kcal kg ⁻¹)						Valor de P	CV (%)
		2300	2380	2460	2540	2620	2700		
ST (%)	50	2,37b	3,44ab	3,37ab	3,62a	3,06ab	3,10ab	0,04	8,51
	70	4,86	5,16	5,25	4,69	4,59	4,37	0,27	7,45
	100	4,79	4,27	4,24	4,12	4,28	4,73	0,16	5,60
SV (%)	50	1,37b	2,05ab	2,23ab	2,43a	2,18ab	2,32a	0,03	10,20
	70	2,78	3,12	3,33	3,26	3,39	3,38	0,38	8,83
	100	2,59ab	2,36b	2,54b	2,59ab	2,84ab	3,32a	0,02	6,52
SF (%)	50	1,00bcd	1,39a	1,15abc	1,19ab	0,88cd	0,79d	<0,01	6,03
	70	2,08a	2,04a	1,92a	1,43b	1,21bc	0,99c	<0,01	5,08
	100	2,20a	1,91ab	1,71bc	1,53c	1,44c	1,42c	<0,01	5,19
N total (%)	50	2,10	1,72	2,55	2,48	1,84	2,81	0,41	24,30
	70	1,26b	1,74ab	2,18ab	3,34a	2,55ab	3,17a	0,02	16,15
	100	0,98	1,02	1,21	1,39	1,61	1,87	0,05	16,41
P total (%)	50	1,42b	1,44b	1,61ab	1,71ab	1,79a	1,82a	0,01	4,91
	70	1,26	1,35	1,40	1,37	1,37	1,49	0,66	9,17
	100	1,34	1,43	1,47	1,63	1,67	1,90	0,16	11,30

Médias seguidas de mesma letra na linha, não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os teores de SV dos substratos contendo dejetos de animais com 50 e 100 kg de peso corporal foram influenciados pelos diferentes níveis de EL. Para animais com 50 kg os níveis 2540 e 2700 kcal kg⁻¹ na dieta proporcionaram maiores teores (2,43 e 2,32%) e o nível de 2300 kcal kg⁻¹ proporcionou menor teor de SV (1,37%); já para efluentes contendo dejetos de animais com 100 kg apenas o maior nível de 2700 kcal kg⁻¹ proporcionou maior teor (3,32%) e os níveis de 2380 e 2460 kcal kg⁻¹ proporcionaram menores teores de SV (2,36 e 2,54%).

Os teores de SF dos substratos variaram de acordo com os diferentes níveis de EL, sendo que o nível de 2380 kcal kg⁻¹ proporcionou maior teor, de 1,39%, e o nível de 2700 kcal kg⁻¹

proporcionou menor teor, de 0,79%, para substratos contendo dejetos de animais com 50 kg; para animais com 70 kg os níveis de 2300, 2380 e 2460 kcal kg⁻¹ proporcionaram maiores teores (2,08; 2,04 e 1,92%), enquanto o maior nível de 2700 kcal kg⁻¹ proporcionou teor de SF bem abaixo dos demais com 0,99% e para animais com 100 kg o nível de 2300 kcal kg⁻¹ proporcionou maior teor (2,20%); os níveis mais elevados, de 2540, 2620 e 2700 kcal kg⁻¹ proporcionaram menores teores (1,53; 1,44 e 1,42%), respectivamente.

Os diferentes níveis de EL apresentaram efeito ($P < 0,05$) sobre os teores de N total e P total dos substratos. Para os substratos contendo dejetos de animais com 70 kg os níveis de 2540 e 2700 kcal kg⁻¹ proporcionaram maiores teores, de 3,34 e 3,17 % e o menor nível, de 2300 kcal kg⁻¹ proporcionou menor teor, de 1,26 % de N total. Já para o P total os níveis de 2620 e 2700 kcal kg⁻¹ proporcionaram teores, de 1,79 e 1,82 %, valores superiores aos teores de substratos que receberam níveis de 2300 e 2380 kcal kg⁻¹ que foram de 1,42 e 1,44 %, respectivamente. Resultados semelhantes foram encontrados por COCA et al. (2016), nos quais o N total e P total do efluente foram de $1,54 \pm 0,16$ e $2,45 \pm 0,44\%$, com base na matéria seca.

Os teores de ST, SV e SF dos efluentes (Tabela 5) indicaram que houve degradação de parte da matéria orgânica durante o processo fermentativo. Pode-se considerar que os diferentes níveis de EL nas dietas não influenciaram nas variações das concentrações dos teores de ST e SF dos efluentes, porém houve influência para os teores de SV de efluentes contendo dejetos de animais com maior peso corporal.

Os diferentes níveis de EL apresentaram efeito sobre o teor de SV dos efluentes contendo dejetos de animais com 100 kg de peso corporal. O nível de 2700 kcal kg⁻¹ na dieta proporcionou maior teor (2,79%) e os níveis de 2300 e 2380 kcal kg⁻¹ proporcionaram menores teores de SV (1,85 e 1,76%). Diante dos dados apresentados é possível afirmar que as reduções de SV dos efluentes, em muitos casos, foram abaixo de 50 % e podem ser atribuídas à temperatura instável de operação dos digestores, entre outros fatores.

Tabela 5. Teores de sólidos totais (ST), sólidos voláteis (SV), sólidos fixos (SF), nitrogênio total (N total) e fósforo total (P total) dos efluentes de digestores operados com dejetos de suínos, com diferentes pesos corporais, que receberam diferentes níveis de energia líquida

Table 5. Total solids (TS), volatile solids (VS), fixed solids (FS), total nitrogen (N total) and total phosphorus (P total) contents of the effluents from digesters operated with swine manure, with different body weight, which received different levels of net energy

Variáveis	Peso Corporal (kg)	Níveis de energia líquida (kcal kg ⁻¹)						Valor de P	CV (%)
		2300	2380	2460	2540	2620	2700		
ST (%)	50	3,39	2,77	4,21	2,32	2,67	3,51	0,13	30,56
	70	2,43	3,05	3,00	3,84	3,39	2,61	0,47	34,38
	100	3,67	3,08	4,24	3,70	3,34	3,77	0,38	20,32
SV (%)	50	1,95	1,60	2,68	1,45	1,75	2,40	0,13	34,06
	70	1,42	1,75	1,80	2,62	2,41	1,76	0,38	43,18
	100	1,85b	1,76b	2,50ab	2,38ab	2,21ab	2,79a	0,02	17,35
SF (%)	50	1,45	1,17	1,53	0,88	0,92	1,11	0,05	26,29
	70	1,02	1,30	1,20	1,23	0,98	0,85	0,10	20,92
	100	1,82	1,32	1,74	1,33	1,13	0,98	0,05	27,88
N total (%)	50	2,38	2,47	2,32	1,78	2,67	2,71	0,41	27,03
	70	1,64	2,31	2,27	1,78	2,03	1,87	0,58	30,86
	100	1,01b	1,26ab	1,45ab	1,62ab	1,43ab	1,93a	0,05	26,77
P total (%)	50	1,47	1,48	1,46	1,66	1,65	1,85	0,14	13,70
	70	1,47bc	1,27c	1,47bc	1,65ab	1,77ab	1,86a	<0,01	9,21
	100	1,51b	1,47b	1,68ab	1,76ab	1,77ab	1,98a	<0,01	9,17

Médias seguidas de mesma letra na linha, não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os diferentes níveis de EL apresentaram efeito ($P<0,05$) sobre os teores de N total e P total dos efluentes. O nível de 2700 kcal kg⁻¹ proporcionou maior teor, de 1,93 %, e o menor nível, de 2300 kcal kg⁻¹, proporcionou menor teor, de 1,01 % de N total nos efluentes de animais com 100 kg.

Efluentes contendo dejetos de animais com 70 kg que receberam dieta com 2700 kcal kg⁻¹ apresentaram maior teor médio de P (1,86 %), enquanto efluentes oriundos do nível de 2300 kcal kg⁻¹ apresentaram menor médio teor de N total (1,26 %). Para animais com 100 kg de peso vivo o nível de 2700 kcal kg⁻¹ proporcionou maior teor de P (1,98 %), valor superior aos que receberam os níveis de 2300 e 2380 kcal kg⁻¹ que foram de 1,51 e 1,47 % de P total.

Pode-se inferir que as quantidades de N total e P total encontradas no presente trabalho são devidas às variações das quantidades de nutrientes de cada fase da produção, considerando que as

dietas foram formuladas seguindo as recomendações nutricionais de acordo com as faixas de peso dos animais.

Houve diferença ($P < 0,05$) entre os valores de pH dos substratos que continham dejetos de animais com pesos corporais de 50 e 100 kg que receberam diferentes níveis de EL na dieta (Tabela 6).

Tabela 6. Potencial de hidrogênio (pH), nitrogênio amoniacal (NH_3), alcalinidade parcial (AP), intermediária (AI) e total (AT) dos substratos de digestores operados com dejetos de suínos, com diferentes pesos corporais, que receberam diferentes níveis de energia líquida

Table 6. Hydrogenionic potential (pH), ammonia nitrogen (NH_3), partial (PA), intermediate (IA) and total alkalinity (TA) of substrates of anaerobic digesters operated with swine manure, with different body weight, that received different levels of net energy

Variáveis	Peso Corporal (kg)	Níveis de energia líquida (kcal kg^{-1})						Valor de P	CV (%)
		2300	2380	2460	2540	2620	2700		
pH	50	7,13ab	7,21a	7,25a	6,96b	7,34a	7,19ab	0,01	0,76
	70	7,06	7,08	7,09	7,11	7,13	7,08	0,27	0,34
	100	7,31b	7,61a	7,37b	7,61a	7,58a	7,32b	<0,01	0,45
NH_3	50	115	156	146	149	122	139	0,14	9,86
	70	86b	90ab	106ab	116ab	107ab	120a	0,03	7,47
	100	99	103	110	103	115	128	0,48	13,69
AP mg $\text{CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$	50	5194	5390	5243	4434	5592	5196	0,11	6,03
	70	5255a	5283a	5115ab	4997ab	4847b	4931b	<0,01	1,39
	100	5956	5789	5653	5663	5649	5709	0,80	4,43
AI mg $\text{CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$	50	4306	5091	4644	4774	4256	4271	0,05	4,77
	70	4704ab	4778ab	4730ab	4825ab	4439b	4989a	0,07	2,66
	100	4045ab	4028ab	3897bc	3587c	3757bc	4233a	<0,01	1,89
AT mg $\text{CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$	50	9500	10481	9887	9207	9848	9466	0,22	4,52
	70	9958a	10061a	9844a	9821a	9285b	9920a	<0,01	1,05
	100	10000	9817	9550	9250	9405	9943	0,15	2,70

Médias seguidas de mesma letra na linha, não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os níveis de 2380, 2460 e 2620 kcal kg^{-1} na dieta levaram a maiores valores de pH (7,21; 7,25 e 7,34) e o nível de 2540 kcal kg^{-1} proporcionou menor valor de pH que foi de 6,96 para animais com 50 kg, respectivamente. Para substratos contendo dejetos de animais com 100 kg os níveis de 2380, 2540 e 2620 kcal kg^{-1} proporcionaram maiores valores de pH (7,61; 7,61 e 7,58).

Apesar da diferença entre os valores de pH dos substratos para a alimentação dos digestores, os mesmos apresentaram-se satisfatórios para o desenvolvimento dos microrganismos no início do

processo, apresentando-se em uma faixa de 6,96 à 7,61, conforme recomendado por MASSOTI (2013). Este fato pode ter ocorrido pelo acréscimo de bicarbonato de sódio nos substratos.

Os diferentes níveis de EL influenciaram nas concentrações de N amoniacal dos substratos com dejetos de animais com peso corporal de 70 kg, no qual o maior nível de EL, 2700 kcal kg⁻¹ proporcionou maior concentração de N amoniacal, que foi de 120 mg L⁻¹ quando comparado com o menor nível de 2300 kcal kg⁻¹, que foi de 86 mg L⁻¹.

É provável que as concentrações de N amoniacal variaram de acordo com a composição dos dejetos, que está relacionada com os nutrientes presentes nos alimentos e como é aproveitado pelos animais. Adicionalmente, as concentrações de N amoniacal dos substratos, variaram de acordo com a utilização dos compostos nitrogenados pelos microrganismos.

Os níveis de EL na dieta influenciaram os valores de alcalinidade parcial (AP), alcalinidade intermediária (AI) e alcalinidade total (AT) de alguns substratos (Tabela 6). Todos os valores de AP dos substratos apresentaram-se acima do limite mínimo recomendado, de 1.200 mg CaCO₃ L⁻¹.

Para a AP os substratos que continham dejetos de animais com peso corporal de 70 kg que receberam níveis de EL na dieta, de 2300 e 2380 kcal kg⁻¹ proporcionaram maiores teores (5255 e 5283 mg CaCO₃ L⁻¹) e os maiores níveis, de 2620 e 2700 kcal kg⁻¹ proporcionaram menores teores (4847 e 4931 mg CaCO₃ L⁻¹), respectivamente; para a AI os substratos que continham dejetos de animais com pesos corporais de 70 e 100 kg que receberam o maior nível, de 2700 kcal kg⁻¹, apresentaram maiores teores (4989 e 4233 mg CaCO₃ L⁻¹); e para a AT os substratos que continham dejetos de animais com peso corporal de 70 kg que receberam nível de 2620 kcal kg⁻¹ apresentou menor teor (9285 mg CaCO₃ L⁻¹), quando comparados com os demais.

Não houve influência dos diferentes níveis de EL sobre os valores de pH dos efluentes dos digestores (Tabela 7). Supõe-se que as diferenças nos valores de pH dos efluentes contendo dejetos de animais com diferentes pesos corporais podem ser atribuídas mais à aclimação dos microrganismos com o passar dos dias de operação dos digestores do que aos pesos corporais e aos diferentes níveis de EL na dieta.

Tabela 7. Potencial de hidrogênio (pH), nitrogênio amoniacal (NH₃), alcalinidade parcial (AP), intermediária (AI) e total (AT) dos efluentes de digestores operados com dejetos de suínos, com diferentes pesos corporais, que receberam diferentes níveis de energia líquida

Table 7. Hydrogenionic potential (pH), ammonia nitrogen (NH₃), partial (PA), intermediate (IA) and total alkalinity (TA) of the effluents from anaerobic digesters operated with swine manure, with different body weight that received different levels of liquid energy

Variáveis	Peso Corporal (kg)	Níveis de energia líquida (kcal kg ⁻¹)						Valor de P	CV (%)
		2300	2380	2460	2540	2620	2700		
pH	50	6,45	6,41	6,26	6,54	6,36	6,27	0,14	2,41
	70	6,91	6,64	6,47	6,45	6,70	6,58	0,22	4,06
	100	7,11	7,10	6,98	6,96	7,12	6,99	0,26	1,74
NH ₃	50	370b	452ab	407ab	478a	429ab	413ab	<0,02	9,01
	70	244	245	243	300	254	295	0,13	14,18
	100	221c	278ab	241abc	223bc	230abc	279a	<0,01	9,77
AP ¹ mg CaCO ₃ L ⁻¹	50	2599	2699	2140	2930	2567	2253	0,11	15,58
	70	4214	3160	2840	2799	3302	3279	0,16	23,10
	100	5689	5464	4788	4512	5466	4575	0,19	15,60
AI ² mg CaCO ₃ L ⁻¹	50	9132b	10231ab	10538ab	10560ab	10145ab	11097a	0,05	7,62
	70	7923b	9175ab	10075a	10670a	8874ab	10482a	<0,01	9,35
	100	6670	7380	7654	7280	6694	7663	0,06	7,54
AT ³ mg CaCO ₃ L ⁻¹	50	11731b	12930ab	12678ab	13490a	12712ab	13351ab	0,05	5,74
	70	12137b	12335b	12916ab	13470a	12177b	13761a	<0,01	3,54
	100	12359	12845	12442	11793	12161	12238	0,60	6,50

Médias seguidas de mesma letra na linha, não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O pH deve estar dentro da faixa ideal, entre 6,0 a 8,0, próximo a neutralidade ou alcalinos, pois os microrganismos responsáveis pela produção e consumo de ácidos graxos voláteis durante o processo de digestão anaeróbia são sensíveis ao pH do meio (MASSOTI, 2013).

Estudos realizados por TUERSON (2013) sobre a eficiência de digestores contínuos após 90 dias de fermentação resultou em valores de pH acima do recomendado, de pH de 8,64, mas foram considerados satisfatórios para o processo de digestão anaeróbia. No entanto, altas concentrações (acima de 8,5) inibem o processo de digestão anaeróbia por ser tóxico para as arqueas metanogênicas (YENIGÜN & DEMIREL, 2013).

As concentrações de N amoniacal dos efluentes contendo dejetos de animais de 50 kg foram influenciadas pelos diferentes níveis de EL, no qual o nível de 2540 kcal kg⁻¹ proporcionou maior concentração (478mg L⁻¹) e o nível de 2300 kcal kg⁻¹ apresentou menor concentração de N

amoniacoal (370 mg L^{-1}); já para os efluentes contendo dejetos de animais com 100 kg que receberam $2700 \text{ kcal kg}^{-1}$ na dieta proporcionou maior concentração (279 mg L^{-1}) e o nível de $2300 \text{ kcal kg}^{-1}$ proporcionou menor concentração de N amoniacoal (221 mg L^{-1}), respectivamente. As concentrações obtidas no presente trabalho foram satisfatórias, e indicaram equilíbrio na degradação e assimilação dos compostos nitrogenados durante o processo.

Efluentes de digestores semicontínuos formulados com dejetos de suínos alimentados com diferentes níveis de energia líquida e ractopamina obtidos por COCA et al. (2016) apresentaram concentrações de N amoniacoal de $460 \pm 45 \text{ mg L}^{-1}$, próximas às encontrados no presente trabalho.

As concentrações de N amoniacoal nos efluentes variaram de 221 a 478 mg L^{-1} , abaixo dos níveis de inibição do processo que, de acordo com RAJAGOPAL et al.(2013), é acima de 1.500 mg L^{-1} . Ressalte-se que o N amoniacoal é relacionado com a concentração tanto do NH_4^+ (íon amônio) quanto a NH_3 (amônia livre), cuja prevalência depende do pH do meio. Se o pH for menor que 7,0 prevalece forma de NH_4^+ , se maior que 7,0 prevalece a forma de NH_3 , que dependendo da concentração, tornar-se tóxico aos microrganismos.

Para os valores de AP pode-se observar que houve diminuição nas concentrações nos substratos em relação aos efluentes, enquanto as de AI e AT aumentaram valores que não representaram risco de falência durante o processo.

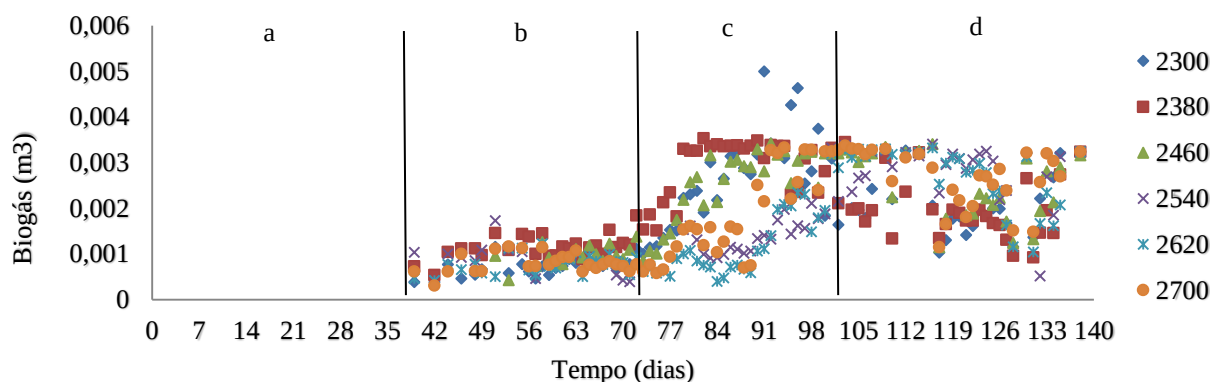
Houve diferença ($P < 0,05$) nos valores de AI no efluente contendo dejetos de animais com 50 e 70 kg. Para animais com 50 kg o nível de $2700 \text{ kcal kg}^{-1}$ proporcionou maior concentração de AI ($11097 \text{ mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$), enquanto o nível de $2300 \text{ kcal kg}^{-1}$ promoveu menor concentração ($9132 \text{ mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$). Para animais com 70 kg, os níveis de 2460, 2540 e $2700 \text{ kcal kg}^{-1}$ promoveram maiores concentrações (10075; 10670 e $10482 \text{ mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$), enquanto o nível de $2300 \text{ kcal kg}^{-1}$ promoveu menor concentração, de $7923 \text{ mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$, inferior às demais concentrações.

O valor de AT do efluente que continha dejetos de animais com 50 kg de peso corporal que receberam dieta com $2540 \text{ kcal kg}^{-1}$ de EL foi superior àquele que continha dejetos de animais que receberam $2300 \text{ kcal kg}^{-1}$ ($13490 \times 11731 \text{ mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$).

É possível que os valores elevados de AP, AI e AT dos efluentes ocorreram devido à elevada concentração de compostos orgânicos e ao metabolismo dos microrganismos que envolvem o consumo de ácidos voláteis e a produção de substâncias tamponantes, como o bicarbonato de amônio.

Considerados como parâmetros de monitoramento para verificar estabilidade e eficiência do processo de digestão anaeróbia, o pH, o N amoniacal e a alcalinidade referidas no presente trabalho apresentaram-se satisfatórios e não ofereceram riscos de falência durante o processo, pode-se dizer que proporcionaram eficiência dos digestores para melhores produções de biogás.

Para todos os níveis de EL, o início da produção de biogás deu-se a partir dos 40 dias de TRH (Figura 1). Dos 41 dias aos 71 dias todos os níveis apresentaram produções de 0,001 a 0,002 m³.



- (a) Partida;
- (b) Cargas diárias com dejetos de suínos – peso corporal - 50 kg;
- (c) Cargas diárias com dejetos de suínos – peso corporal - 70 kg;
- (d) Cargas diárias com dejetos de suínos – peso corporal - 100 kg.

Figura 1. Produção de biogás por dejetos de suínos em crescimento e terminação que receberam diferentes níveis de energia líquida na dieta

Figure 1. Biogas production from swine manure in growing and finishing phase fed with different levels of net energy in the diet

Aos 77 dias, observaram-se maiores produções de biogás por dejetos de animais que receberam níveis de 2300; 2380; 2460 e 2700 kcal kg⁻¹, enquanto os níveis de 2540 e 2620 kcal kg⁻¹

alcançaram maiores produções com 91 dias. Após os 98 dias todos os tratamentos mantiveram-se em uma faixa de produção até os 130 dias de operação.

Observou-se que o processo de digestão anaeróbia não foi eficiente no início para a produção de biogás, sendo o mesmo considerado tardio. Diante disso, uma hipótese provável é que as baixas temperaturas influenciaram o início do processo, interferindo em condições ideais para que os microorganismos se desenvolvessem, e consequentemente, degradassem a matéria orgânica.

Houve efeito dos níveis de EL para os potenciais de produção de biogás dos dejetos dos animais com peso corporal de 50 e 100 kg (Tabela 8). Não houve diferença entre os potenciais de produção de biogás quando foram utilizados dejetos de animais com 70 kg, com média de 1,028 m³kg⁻¹ de SV adicionados.

Tabela 8. Potenciais dos SV adicionados (m³kg⁻¹) de dejetos de suínos, com diferentes pesos corporais, que receberam diferentes níveis de energia líquida na dieta

Table 8. Potentials of VS added (m³kg⁻¹) from swine manure, with different body weight that received different levels of net energy in the diet

Peso corporal (kg)	Níveis de energia líquida (kcal kg ⁻¹)						Valor de P	CV ¹ (%)	Média
	2300	2380	2460	2540	2620	2700			
50	0,121 b	0,772 a	0,671 a	0,351 b	0,588 a	0,569 a	0,0014	34,90	-
70	0,623	1,328	1,112	0,801	1,275	1,028	0,1475	38,21	1,028
100	0,262 c	1,271 b	1,409 b	2,100 a	1,613 b	1,468 b	0,0000	22,61	-

¹Coeficiente de variação. Médias seguidas de mesma letra na linha, não diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Entre animais com 50 kg, aqueles que receberam as dietas com 2300 e 2540 kcal kg⁻¹ apresentaram os menores potenciais de biogás por unidade de SV adicionados, média de 0,236 m³ kg⁻¹; entre os demais níveis de EL, não houve diferença e a média foi de 0,650 m³ kg⁻¹.

Para os animais com 100 kg, o menor potencial de produção de biogás (0,262 m³ kg⁻¹ de SV adicionados) foi obtido com dejetos de animais que receberam o nível de EL de 2300 kcal kg⁻¹ e o maior (2,100 m³ kg⁻¹ de SV adicionados), da dieta com 2540 kcal kg⁻¹. Entre as dietas com níveis de

EL de 2380, 2460, 2620 e 2700 kcal kg⁻¹, não houve diferença e a média foi de 1,440 m³ kg⁻¹ de SV adicionados.

Estudos realizados com digestores contínuos durante 149 dias de operação, abastecidos com dejetos de suínos em crescimento e terminação, alimentados com dietas à base de milho resultaram em potências médias de produção de biogás de 0,632 e 0,599 m³ kg⁻¹ de SV adicionados (MIRANDA, 2012). Resultados próximos do presente trabalho.

Diante dos resultados do presente estudo, observou-se que os pesos corporais parecem interferir nos potenciais de produção de biogás por unidade de SV, que foram maiores para animais de maior peso corporal. Tanto para dejetos de animais com 50 kg como para animais com 100 kg, as dietas com 2620 e 2700 kcal kg⁻¹ apresentaram elevados potenciais de produção de biogás em relação à dieta com 2300 kcal kg⁻¹. No entanto, o maior peso corporal dos animais possibilitou maiores produções de biogás em relação aos animais com 50 kg que consumiram os mesmos níveis de EL na dieta.

Conclusão

Níveis de EL entre 2300 e 2700 kcal kg⁻¹ não interferem negativamente e não oferecem riscos de falência para o processo de digestão anaeróbia.

Dejetos de animais em terminação (100 kg de peso vivo) alimentados com níveis elevados de EL na dieta (2540; 2620 e 2700 kcal kg⁻¹) possuem maior rendimento de biogás (2,100; 1,613 e 1,468 m³ kg⁻¹ de SV adicionados).

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Programa Institucional de Bolsas aos Alunos de Pós-Graduação da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (PIBAP/UEMS) pela bolsa concedida.

Comissão de ética

Todos os métodos que envolvem manipulação dos animais foram realizados de acordo com as normas aprovadas pela Comissão de Ética no Uso de Animais da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, protocolo nº 552/2013.

Referência

AFONSO, E.R.; PALHARES, J.C.P.; GAMEIRO, A.H. Impacto de estratégias nutricionais na redução da excreção de nutrientes. In: III SIMPÓSIO DE SUSTENTABILIDADE & CIÊNCIA ANIMAL, 4, 2014, São Paulo. **Anais...**São Paulo: Sustentabilidade & Ciência Animal, 2014. 1 CD-ROM.

APHA. Standard methods for the examination of water and wastewater. 21th ed. Washington, p 1496. 2012.

BUHRING, G.M.B.; SILVEIRA, V.C.P. O biogás e a produção de suínos do sul do Brasil. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v.5, n.2, p.222-237. 2016.

BLUEMLING, B.; MOL, A.P.J.; TU, Q. The social organization of agricultural biogas production and use. **Energy Policy**, v. 63, p. 10-17. 2013.

CAETANO, L. **Proposição de um sistema modificado para quantificação de biogás**. 1985. 75 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, UNESP, Botucatu, 1985.

COCA, F.O.C.G.; XAVIER, C.A.N.; ANDRADE, W.R.; ARRUDA, L.D.O.; GONÇALVES, L.M.P.; KIEFER, C.; SANTOS, T.M.B. Produção de biogás com dejetos de suínos – efeito de energia líquida e ractopamina da dieta. **Arch. Zootecnia**, v.65, p.507-512. 2016.

COLATTO, L.; LANGER, M. Biodigestor – resíduo sólido pecuário para produção de energia. **Unoesc & Ciência – ACET**, v. 2, n. 2, p. 119-128. 2012.

FERNANDES, D.M. Processo de biodigestão anaeróbia em uma granja de suíno. **Ambiência**, v.10, n.3, p. 741-754. 2014.

JENKINS, S. R.; MORGAN, J. M.; ZHANG, X. Measuring the usable carbonate alkalinity of operating anaerobic digesters. **Journal Water Pollution Control Federation**, v. 63, n. 1, p. 28-34. 1991.

KIL, D.Y.; KIM, B.G.; STEIN, H.H. Feed energy evaluation for growing pigs. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v. 26, p. 1205–1217. 2013.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. Micronutrientes, uma visão geral. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M. C. Micronutrientes na agricultura, 1991, Piracicaba. **POTAFOS/CNPq**...Piracicaba, p. 1-33. 1991.

MASSOTTI, Z. Viabilidade técnica e econômica do biogás a nível de propriedade. **Engenharia Agrícola**, p. 102-108. 2013.

MIRANDA, A.P.; LUCAS Jr, J.; THOMAZ, M.C.; PEREIRA, G.T. Anaerobic biodigestion of pig feces in the initial, growing and finishing stages fed with diets formulated with corn or sorghum. **Engenharia. Agrícola**, vol. 32, p. 47-59. 2012.

PERKIN-ELMER Corporation. Analytical methods for atomic absorption spectrophotometry. **Norwalk**, p. 300. 1996.

RAJAGOPAL, R.; MASSÉ, D. I.; SINGH, G. A critical review on inhibition of anaerobic digestion process by excess ammonia. **Bioresource Technology**, v. 143, p. 632-641. 2013.

RIPLEY, L. E.; BOYLE, W. C.; CONVERSE, J. C. Improved alkalimetric monitoring for anaerobic digestion of high-strength wastes. **Journal Water Pollution Control Federation**, Alexandria, v. 58, n. 5, p. 406-411. 1986.

ROSTAGNO, H.S.; ALBINO, L.F.T.; DONZELE, J.L. GOMES. P.C.; OLIVEIRA, R.F.; LOPES, D.C.; FERREIRA, A.S.; BARRETO, S.L.T; EUCLIDES, R.F. Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais. 3.ed. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 252p. 2011.

SILVA, D. J.; QUEIROZ, A.C. Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos. 3. ed. Viçosa: UFV- Universidade Federal de Viçosa, p.235.2006.

TUESORN, S., WONGWILAIWALIN, S., CHAMPREDA, V., LEETHOCHAWALIT, M., NOPHARATANA, A., TECHKARNJANARUK, S., CHAIPRASERT, P. Enhancement of biogas production from swine manure by a lingo cellulolytic microbial consortium. **Elsevier Ltd. Allrights reserved**, p.86-144. 2013.

YENİGÜN, O.; DEMİREL, B. Ammonia inhibition in anaerobic digestion: A review. **Process Biochemistry**, v.48, p.901–911. 2013.

CAPITULO 3 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pesquisas sobre o uso de diferentes níveis de energia líquida nas dietas de suínos em crescimento e terminação indicam que ocorre uma melhora no desempenho e características das carcaças dos animais. Entretanto, são necessárias mais pesquisas com maiores níveis de EL na dieta, relacionados com a produção e caracterização dos dejetos de suínos, para que haja soluções para o destino adequado dos dejetos produzidos.

É importante a formulação de rações com ingredientes que resultem em menor quantidade de nutrientes (fósforo, nitrogênio, cálcio, potássio, entre outros) excretados por dejetos gerados que possa interferir na eficiência de processos anaeróbios.

No presente trabalho, animais com diferentes pesos corporais foram alimentados com rações com diferentes níveis de energia líquida, e os dejetos apresentaram valores satisfatórios com menor poder poluente e não ofereceram riscos de falência para o processo de digestão anaeróbia.

O uso de técnicas para o uso de digestores utilizando resíduos de origem animal deve ser recomendado para produtores rurais em pequenas e grandes escalas.