



Caracterização e digestão anaeróbia dos dejetos de suínos submetidos a restrição alimentar ou suplementados com ractopamina ou cromo

Characterization and anaerobic digestion of manure from pigs submitted feed restriction or supplemented with ractopamine or chromium

Elaine Mariza Rosa¹ , Cristiane Almeida Neves Xavier¹ , Charles Kiefer² , Leide Daiana de Oliveira Arruda¹ , Willian Rufino Andrade¹ , Danilo de Souza Sanches² , Elis Regina de Moraes Garcia¹ , Tânia Mara Baptista dos Santos*¹ 

¹ Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS), Aquidauana, Mato Grosso do Sul, Brasil

² Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil

*autor correspondente: tania@uems.br

Resumo: Realizou-se este estudo com o objetivo de caracterizar a produção e a digestão anaeróbia de dejetos de suínos em terminação submetidos a restrição alimentar ou suplementados com ractopamina ou cromo. Os dejetos foram provenientes de 50 suínos machos castrados, em fase de terminação, com ± 154 dias de idade, com peso inicial de $99,0 \pm 4,4$ kg e final de $117,2 \pm 5,8$ kg. As dietas experimentais foram: controle (dieta convencional); restrição qualitativa (redução de 7,5% de energia líquida em relação à dieta controle); restrição quantitativa (redução de 15% no fornecimento de ração); cromo (0,8 mg); e ractopamina (10 ppm). Os dados foram submetidos à análise de variância por meio do delineamento em blocos ao acaso, no qual as semanas de análises foram consideradas como blocos (cofator). Não foram observadas diferenças entre as dietas nas produções de dejetos na matéria natural (MN), matéria seca (MS), matéria mineral (MM) e matéria orgânica (MO). Animais que receberam a dieta controle apresentaram o maior coeficiente de resíduo e não houve diferença entre as demais dietas. Não foram observadas diferenças entre as dietas para sólidos totais, pH e nitrogênio total dos afluentes e efluentes. O maior rendimento de biogás (574 mL g^{-1} de SV adicionados) foi obtido com os digestores abastecidos com dejetos de animais alimentados com dieta qualitativamente restrita. Conclui-se que a dieta com restrição qualitativa resulta em maior produção de dejetos, porém com menores excreções de nitrogênio e fósforo e maior rendimento de biogás.

Palavras-chave: biogás; digestores; mineral orgânico; promotor de crescimento

Abstract: The study was carried out with the aim of characterizing the production and anaerobic digestion of manure from finishing pigs subjected to feed restriction or supplemented with ractopamine or chromium. The waste came from 50 castrated male pigs in the finishing phase, aged ± 154 days, with a starting weight of 99.0 ± 4.4 kg and a final weight of 117.2 ± 5.8 kg. The experimental diets were: control (conventional diet); qualitative restriction (7.5% reduction in net energy compared to the control diet); quantitative restriction (15% reduction in feed supply); chromium (0.8 mg); and ractopamine (10 ppm). The data was submitted to analysis of variance using a randomized block design, in which

Recebido: 07 de novembro, 2023. Aceito: 04 de abril, 2024. Publicado: 31 de julho, 2024.

the weeks of analysis were considered as blocks (cofactor). There were no differences between the diets in manure production in terms of natural matter (NM), dry matter (DM), mineral matter (MM) and organic matter (OM). Animals given the control diet had the highest residue coefficient and there was no difference between the other diets. No differences were observed between the diets for total solids, pH and total nitrogen in the tributaries and effluents. The highest biogas yield (574 mL g⁻¹ of SV added) was obtained with digesters supplied with manure from animals fed a qualitatively restricted diet. It can be concluded that the qualitatively restricted diet results in higher manure production, but with lower nitrogen and phosphorus excretion and higher biogas yields.

Key-Words: biogas, digesters, organic mineral, growth promoter

1. Introdução

Existem diversas estratégias nutricionais que podem ser empregadas na fase de terminação dos suínos com objetivo de melhorar a taxa de crescimento, a eficiência alimentar e a qualidade da carcaça. Dentre as estratégias, pode-se citar a utilização da restrição alimentar ou a suplementação das dietas com aditivos como a ractopamina e/ou cromo. A restrição alimentar na terminação tem por objetivo melhorar a eficiência alimentar e também a qualidade de carcaça por meio da redução de gordura depositada e, por consequência, aumento da porcentagem de carne ^(1,2,3).

A restrição alimentar pode ser realizada de forma quantitativa ou qualitativa. A redução do consumo energético pode ser por meio da restrição quantitativa de alimento, controlando-se a quantidade de ração fornecida ao animal. Partindo desse pressuposto, considera-se que quanto menor a oferta de alimento, menor será a produção de dejetos. Outra forma de restrição alimentar a fim de reduzir o consumo energético pelos animais, é a inclusão de ingredientes com menor valor calórico, denominada restrição alimentar qualitativa ⁽⁴⁾.

Por sua vez, o cromo é um mineral componente do fator de tolerância à glicose, que atua aumentando a fluidez da membrana celular, permitindo a ligação do receptor de insulina que aumenta a captação de glicose ⁽⁵⁾. O cromo participa do metabolismo lipídico, proteico e síntese de ácidos nucleicos ⁽⁶⁾, e quando suplementado corretamente pode promover o aumento do ganho de peso, consumo de ração e o percentual de carne magra da carcaça dos suínos ^(7,8).

A inclusão de ractopamina na alimentação de suínos na fase de terminação promove efeitos positivos no desempenho ⁽⁹⁾, aumento da massa magra da carcaça e reduz a quantidade de gordura da carcaça ^(10, 11). A ractopamina é um composto sintético que apresenta estrutura e propriedades químicas e farmacológicas similares às das catecolaminas naturais ⁽¹²⁾, que atua através de receptores β -específicos, resultando na diminuição da lipogênese e no aumento da massa muscular ⁽¹³⁾.

Com base nesses conceitos, pode-se sugerir que animais alimentados com dietas com menor densidade energética resultará na produção de dejetos com taxa reduzida de poluentes. No mesmo ponto de vista, outras estratégias nutricionais indicadas são as dietas suplementadas com ractopamina ou cromo, podem melhorar o desempenho e reduzir a quantidade de gordura depositada na carcaça.

Entretanto, informações sobre os efeitos da ractopamina, restrição alimentar e cromo nas características dos dejetos e seus impactos ao meio ambiente ainda não são bem esclarecidos, e informações voltadas a esse assunto são escassas na literatura. Portanto, considerando a necessidade de informações relacionadas à composição dos dejetos, realizou-se este estudo com o objetivo de caracterizar os dejetos e avaliar a digestão anaeróbia destes resíduos provenientes de suínos em terminação alimentados com dietas contendo ractopamina, cromo ou sob restrições alimentares quantitativas ou qualitativas.

2. Material e Métodos

O experimento foi realizado no Laboratório de Resíduos de Origem Animal da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul. O município apresenta duas estações bem definidas: verão chuvoso e inverno seco. Durante a condução do experimento a temperatura média observada foi de 29,4°C.

Os dejetos foram provenientes de 50 suínos machos castrados, em fase de terminação, com ± 154 dias de idade, com peso inicial de $99,0 \pm 4,4$ kg e final de $117,2 \pm 5,8$ kg. Os animais foram alojados em galpão de alvenaria, distribuídos em cinco grupos de 10 animais, sendo que em cada baia foram alocados dois animais. O ambiente era coberto com telha de cerâmica, piso de concreto, laterais teladas e equipadas com cortinas. As baias com dimensão de 1,15 x 2,86 m, foram equipadas com comedouros, bebedouros do tipo nipple e lâminas d'água localizadas com dimensões de 1,15 x 0,30 x 0,10 m.

As dietas foram formuladas à base de milho e farelo de soja, suplementadas com vitaminas e minerais, de modo a atender as exigências nutricionais estabelecidas por Rostagno *et al.* ⁽¹⁴⁾, sendo: controle (dieta convencional); restrição qualitativa (redução de 7,5% de energia líquida em relação à dieta controle); restrição quantitativa (redução de 15% no fornecimento de ração); cromo (0,8 mg); e ractopamina (10 ppm).

Os dejetos foram colhidos nos três últimos dias da fase experimental, logo após a excreção, segundo as dietas experimentais as quais os animais foram submetidos. Nos dias anteriores às coletas foi realizada a limpeza total das lâminas d'água e o registro d'água das lâminas foi desligado por um período de 24 horas. Passado esse período, o dejetos de cada baia foi coletado, por meio de raspagem do piso. O material coletado foi pesado e armazenado no congelador em sacos plásticos devidamente identificados. Os dejetos gerados e colhidos em cada baia eram identificados por baia, e tratamento e armazenadas até o momento do processamento em laboratório para obtenção de parâmetros de caracterização. Em seguida, para que se pudesse obter um material homogêneo para os abastecimentos dos digestores anaeróbios, os dejetos foram homogeneizados para obtenção de amostra uma amostra composta referente a cada tratamento adotado.

A produção de dejetos foi expressa em kg de sólidos totais (ST) animal⁻¹ dia⁻¹, e calculada com os dados da pesagem diária dos dejetos (kg) e teor de ST dos dejetos em que: produção de dejetos (ST animal⁻¹ dia⁻¹) = dejetos, kg x ST, %. O coeficiente de resíduo (CR) foi calculado a partir dos dados de produção de dejetos (na MS) e do ganho de peso durante o período do

confinamento para cada animal, conforme a equação: $CR = \frac{\text{quantidade de dejetos, kg na MS}}{\text{ganho de peso, kg}}$

Foram utilizados 10 digestores cilíndricos semicontínuos de bancada, construídos em polícloro de polivinila (PVC), com volume útil de 7,5L de substrato em fermentação (Figura 1). Os digestores foram constituídos de duas partes distintas, uma câmara de fermentação e o gasômetro, o qual era composto por duas estruturas de PVC, interna e externa, cujo objetivo era armazenar e permitir a quantificação do gás gerado. A conexão entre câmara de fermentação e o gasômetro era feita por meio de mangueira de silicone.

Os afluentes de partida foram formulados para conter aproximadamente 3% de ST. O tempo de partida foi de 30 dias e nesse período verificou-se a queima do biogás em todos os digestores. Após o tempo de partida, os digestores foram operados com cargas diárias por 90 dias; dentro desse período, os digestores foram abastecidos diariamente com afluente que variaram conforme os tratamentos, com a adição de bicarbonato de sódio (NaHCO_3), utilizado com o objetivo de auxiliar na formação e manutenção da alcalinidade, correção de pH e, com isso, proporcionar um meio adequado para maior redução de SV, promovendo maior produção de biogás acompanhada de melhor qualidade do biofertilizante.

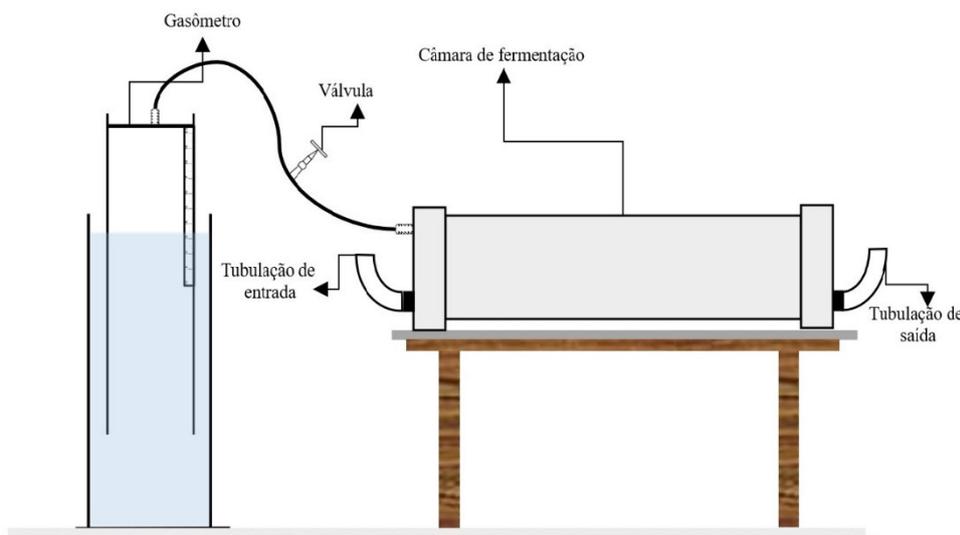


Figura 1 Representação esquemática do digestor anaeróbico experimental utilizado.

Durante o ensaio foram coletadas amostras diárias do afluente e efluente, para determinação dos teores de ST e SV, e semanais para mensuração dos valores de pH por meio de potenciômetro digital. O nitrogênio amoniacal (N amoniacal) foi determinado segundo a metodologia descrita por APHA ⁽¹⁵⁾, e os valores de alcalinidade parcial (AP), alcalinidade intermediária (AI) e alcalinidade total (AT) conforme Ripley et al. ⁽¹⁶⁾ e Jenkins et al. ⁽¹⁷⁾. A concentração de nitrogênio total (N) foi determinada pelo método Kjeldhal, conforme Silva & Queiroz ⁽¹⁸⁾.

Para a concentração de fósforo total (P total) quinzenalmente foram realizadas análises dos afluentes e efluentes, utilizando a digestão via seca por espectrofotometria (725 nm). A digestão via seca consiste na calcinação das amostras moídas em mufla a temperatura de

600°C por 3 horas; adição de 2 mL de ácido clorídrico concentrado; 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.

O método calorimétrico consiste na formação de um composto amarelo do sistema vanadomolibdo fosfórico em acidez de 0,2 a 1,6 N ⁽¹⁹⁾. A cor desenvolvida foi medida em espectrofotômetro, determinando a concentração de P das amostras, com a utilização de uma reta padrão traçada previamente a partir de concentrações conhecidas, entre 0 e 52 µg de P mL⁻¹. Os padrões foram preparados conforme metodologia descrita por Malavolta ⁽²⁰⁾.

As produções de biogás foram calculadas com base no deslocamento do gasômetro medido com uma trena de 50 cm. Após a leitura do volume produzido, foi verificada a temperatura com o uso de um termômetro digital colocado na saída do biogás, até a estabilização do mesmo. Após cada leitura, os gasômetros foram zerados realizando-se a descarga do biogás. Para a correção do volume de biogás, foi utilizada a expressão resultante da combinação das leis de Boyle e Gay-Lussac.

Considerando a pressão atmosférica média em Aquidauana no período experimental de 10293 mm de H₂O, tem-se como resultado a seguinte expressão para correção do volume de biogás:

V_0 = volume do biogás corrigido, m³;

P_0 = pressão do biogás corrigida (mm H₂O);

T_0 = Temperatura do biogás corrigida (297.7525 K);

V_1 = Volume do biogás no gasômetro;

P_1 = Pressão do biogás no momento de leitura (mm H₂O);

T_1 = Temperatura do biogás no momento de leitura K;

$$\text{Volume do biogás corrigido: } \frac{V_0 \times P_0}{T_0} = \frac{V_1 \times P_1}{T_1}$$

Foram realizados testes de queima do biogás por meio de um bico de Bunsen acoplado à saída de biogás com o intuito de monitorar a estabilidade do processo, visto que as sobrecargas dos digestores podem levar ao acúmulo de ácidos voláteis e excessiva quantidade de dióxido de carbono no biogás, condição na qual o mesmo não queima. Os potenciais de produção de biogás foram calculados utilizando-se os dados de produção diária de biogás de cada tratamento e as quantidades de SV adicionados durante o processo. Os valores foram expressos em mL de biogás por grama de SV adicionados.

Os dados de monitoramento do processo de digestão anaeróbia foram submetidos à análise de variância por meio do delineamento em blocos ao acaso, sendo que as semanas de análises foram consideradas como blocos (cofator). Os dados de produção de dejetos foram analisados estatisticamente pelo teste de Scoot Knott, utilizando-se 5% de probabilidade. Os dados de características químicas de afluentes e efluentes (%) foram analisados pelo teste de Scoot Knott à 1% de probabilidade.

3. Resultados e Discussão

Não foram observadas diferenças significativas entre as dietas nas produções de dejetos na matéria natural (MN), matéria seca (MS) e matéria orgânica (MO) (Tabela 1), no entanto, houve diferença entre as dietas para o coeficiente de resíduos (CR).

Tabela 1 Produção de dejetos com base na material natural e material seca e coeficiente de resíduos de suínos em terminação alimentados com diferentes dietas

Dietas	Matéria natural	Matéria seca	Matéria orgânica	Coeficiente de resíduo, kg
	g animal ⁻¹ dia ⁻¹			
Controle	548	169	120	1,12a
Restrição qualitativa	838	306	202	0,73b
Restrição quantitativa	671	231	122	0,77b
Cromo	545	160	123	0,46b
Ractopamina	754	223	169	0,82b
Valor P	0,356	0,108	0,127	0,008
CV (%)	20,78	21,21	20,70	34,33

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem pelo teste de Scott-Knott, a 0,05 de probabilidade.

Os animais alimentados com a dieta controle apresentaram maior CR (1,12) em relação às demais dietas, que por sua vez não apresentaram diferença entre si. Os dados indicam que a maior quantidade de resíduos por kg de carne produzida foi gerada com o fornecimento da dieta basal, ou seja, o fornecimento dessa dieta pode causar maior impacto ambiental com relação às demais, uma vez que, a mesma quantidade de carne seria produzida em detrimento a maior geração de dejetos. Numa perspectiva do tratamento dos dejetos, sistemas com maiores volumes seriam necessários para mesma unidade de carne produzida com o fornecimento das demais dietas.

As concentrações de N amoniacal e alcalinidade (Tabela 2), como parâmetros indicadores do equilíbrio e da estabilidade do processo, apresentaram-se satisfatórias, sem oferecer riscos de falência do processo de digestão anaeróbia ^(21, 22, 23). O N amoniacal é benéfico para o processo de digestão anaeróbia, serve como fonte de nitrogênio e como tamponante, evitando mudanças de pH ⁽²⁴⁾. A concentração de N amoniacal nos efluentes variaram de 525 a 771 mg L, abaixo dos níveis de inibição do processo que, de acordo com Agyeman et al. ⁽²⁵⁾, são superiores a 1.070 mg L.

Tabela 2 Concentrações médias de nitrogênio amoniacal e alcalinidade (parcial, intermediária e total) de afluente e efluente de dejetos de suínos em terminação alimentados com diferentes dietas

Amostras	N Amoniacal, mL	Alcalinidade, mL		
		Parcial	Intermediária	Total
Afluente				
Controle	341 ± 166	3.448 ± 1.429	2.034 ± 369	4.520 ± 2.439
Restrição qualitativa	254 ± 132	3.981 ± 591	1.758 ± 542	5.739 ± 313

Restrição quantitativa	276 ± 94	3.239 ± 1.331	1.889 ± 296	5.127 ± 1.163
Cromo	260 ± 142	1.997 ± 989	1.264 ± 615	3.260 ± 915
Ractopamina	314 ± 162	5.033 ± 4.039	2.113 ± 299	5.284 ± 1.148
Efluente				
Controle	771 ± 256	2.489 ± 1.443	4.060 ± 1.707	6.549 ± 2.444
Restrição qualitativa	525 ± 166	3.772 ± 1.145	9.722 ± 1.864	1.328 ± 1.942
Restrição quantitativa	592 ± 217	1.484 ± 540	4.107 ± 1.701	5.592 ± 1.595
Cromo	621 ± 229	733 ± 693	2.255 ± 855	2.988 ± 593
Ractopamina	708 ± 315	1.337 ± 713	4.195 ± 1.534	5.310 ± 1.711

As menores concentrações de N amoniacal podem ser explicadas pela composição dos dejetos que depende do aproveitamento dos nutrientes dos alimentos consumidos pelos animais. A formação de N amoniacal ocorre principalmente em meio anaeróbio e este permanece dissolvido na fase líquida dos dejetos e, no caso dos dejetos de suínos, as concentrações são elevadas já que os animais recebem altas quantidades de N orgânico nas dietas, também é mais prontamente transformado em N amoniacal ⁽²³⁾.

O teor médio de ST dos afluentes foi de 2,53% e o de N total, de 1,27%. Como não houve diferença nos teores de N total, mas houve nos teores de SV, é possível que tivesse havido diferença na relação C:N dos afluentes.

As dietas com cromo e ractopamina apresentaram maiores valores de SV nos afluentes, o que aumentariam as chances desses afluentes produzirem maior quantidade de biogás em relação às demais dietas. A dieta com restrição qualitativa apresentou o menor valor de SV no afluente e o maior teor de SF. Esse afluente apresentou o menor teor de P total. Os dois últimos parâmetros indicam que o perfil de minerais desse afluente foi diferente às demais dietas, não sendo possível, no entanto, concluir se sua qualidade foi superior ou inferior. Os minerais presentes nos afluentes de biodigestores podem favorecer o crescimento de microrganismos e melhorar seu metabolismo, inclusive a eficiência de uso dos precursores metano ^(26, 27).

De acordo com Zhang et al. ⁽²⁸⁾, o pH em condição ideal para bactérias anaeróbias pode variar de 6,0 a 8,0 portanto, esses valores encontram-se em uma faixa ideal para o desenvolvimento microbiano, sendo o valor 7,0 considerado o ideal. Nessa faixa, evita-se comprometer a fase metanogênica, visto que as bactérias atuantes se desenvolvem melhor em condições neutras ^(29, 30, 31, 32, 26, 27).

Os efluentes dos biodigestores não diferiram com relação aos teores de ST, SF e N total (Tabela 3). A média do teor de ST dos efluentes foi de 2,65, 0,99 de SF e 1,26% de N total. Esses valores foram próximos àqueles observados nos afluentes, não aparentando reduções. Houve diferença nos teores de SV, P total e no pH dos efluentes.

Dietas com restrição quantitativa e com ractopamina apresentaram maiores teores de SV, com média de 2,03%. A dieta com restrição qualitativa apresentou o maior valor de pH nos efluentes (7,39), o que implica que o meio foi diferenciado em nutrientes, e sua utilização

pode ter proporcionado o desenvolvimento de uma população de microrganismos diferente daquelas encontradas nos demais digestores. As dietas com restrição qualitativa e com ractopamina apresentaram os menores teores de P total, com média de 1,90%.

A dieta com restrição qualitativa levou a maiores produções semanais de biogás e maiores potenciais de produção de biogás por unidade de SV (Tabela 4). Não houve diferença entre as produções acumuladas semanais de biogás entre digestores operados com dejetos de animais que receberam as dietas controle e com restrição quantitativa que foram superiores àquelas produções obtidas pelas dietas com cromo e ractopamina. SANTOS et al. (33), observaram maiores produções de biogás, a partir de 14 dias de tempo de suplementação de ractopamina, em detrimento ao não fornecimento e ao fornecimento por 7 dias.

Tabela 3 Características químicas, em percentagem, dos afluentes e efluentes de digestores operados com dejetos de suínos em terminação alimentados com diferentes dietas

Dietas	ST	SV	SF	pH	N Total	P Total
Afluentes						
Controle	2,44	1,50b	0,94b	7,36	1,30	2,17a
Restrição qualitativa	2,40	1,22c	1,18a	7,46	1,38	1,45b
Restrição quantitativa	2,44	1,58b	0,86b	7,36	1,18	1,96a
Cromo	2,57	1,70a	0,86b	7,36	1,25	2,00a
Ractopamina	2,82	1,91a	0,91b	7,39	1,23	2,00a
Média	2,53	-	-	7,39	1,27	-
Valor P	0,07	<0,01	<0,01	0,15	0,93	<0,01
CV (%)	10,64	14,72	12,73	0,98	13,60	11,13
Efluentes						
Controle	2,19	1,38 b	0,81	6,64 b	1,46	2,28 a
Restrição qualitativa	2,33	1,23 b	1,11	7,39 a	1,31	1,78 b
Restrição quantitativa	3,07	1,99 a	1,10	6,51 b	1,30	2,26 a
Cromo	2,53	1,61 b	0,92	6,27 b	1,20	2,41 a
Ractopamina	3,14	2,07 a	1,07	6,56 b	1,08	2,02 b
Média	2,65	-	0,99	-	1,26	-
Valor P	0,122	0,031	0,362	<0,001	0,926	0,014
CV (%)	27,73	15,30	29,11	3,62	22,67	14,09

ST: Sólidos Totais; SV: Sólidos voláteis; SF: Sólidos fixos; pH: potencial hidrogeniônico; N Total: Nitrogênio total; P total: Fósforo total.

Letras minúsculas na coluna diferem entre si pelo teste de Scoot-Knott, a 0,05 de probabilidade.

Tabela 4 Produção acumulada semanal e potencial de produção de biogás de digestores operados com dejetos de suínos em terminação alimentados com diferentes dietas

Dietas	Biogás, mL semana ⁻¹	Biogás, mL g SV ⁻¹ adicionados
Controle	9.229b	305b
Restrição qualitativa	14.670 ^a	574a
Restrição quantitativa	5.286b	160c
Cromo	1.548c	104c

Ractopamina	2.335c	127c
Valor P	<0,01	<0,01
CV (%)	5,98	31,49

Letras minúsculas na coluna diferem entre si pelo teste de Scoot-Knott, a 0,05 de probabilidade.

Há de se considerar, no entanto, que a dosagem de ractopamina utilizada pelos autores foi de 20 ppm, enquanto no presente trabalho foi de 10 ppm (por 16 dias), sugerindo que a concentração possa ser mais importante que o período de suplementação. O segundo maior potencial de produção de biogás (em mL g⁻¹ de SV adicionados), 47% inferior, foi dos biodigestores operados com dejetos de animais que receberam a dieta controle. As dietas com restrição quantitativa, com cromo e com ractopamina apresentaram os menores potenciais de produção de biogás, média de 130 mL g⁻¹ de SV adicionados.

As dietas fornecidas aos animais foram isoproteicas, o que pode ter ocasionado semelhantes teores de N total nos afluentes e efluentes dos biodigestores. A dieta com restrição qualitativa foi elaborada com teor energético reduzido em aproximadamente 7%, o que pode ter contribuído para que essa dieta apresentasse maiores produções de biogás em relação às demais. Esse fato pode ter contribuído para que o perfil de nutrientes nos dejetos fosse diferente e o pH dos efluentes acima da neutralidade pode ter favorecido o processo de digestão anaeróbia^(34, 35, 31).

4. Conclusão

A dieta controle apresentou maior coeficiente de resíduo em relação as demais dietas, podendo causar maior impacto ambiental pelo fato de produzir maior quantidade de resíduos. A restrição alimentar qualitativa proporciona maior rendimento de biogás (mL g SV¹ adicionados), seguida das dietas controle, restrição alimentar quantitativa, cromo e ractopamina. As restrições qualitativa ou quantitativa, assim como a suplementação de cromo ou ractopamina reduzem a produção de dejetos por quantidade de carne produzida.

Declaração de conflito de interesses

Os autores declaram não haver conflitos de interesses.

Contribuições do autor

Conceitualização: T. M. B. Santos and C. Kiefer. Curadoria de dados: E. M. Rosa, C. A. N. Xavier, C. Kiefer and, T. M. B. Santos. Análise formal: E. M. Rosa, C. A. N. Xavier, C. Kiefer, L. D. O. Arruda, W. R. Andrade, D. S. Sanches, E. R. M. Garcia and, T. M. B. Santos. Investigação: E. M. Rosa, C. A. N. Xavier, C. Kiefer, L. D. O. Arruda, W. R. Andrade, D. S. Sanches, E. R. M. Garcia and, T. M. B. Santos. Metodologia: C. Kiefer and T. M. B. Santos. Administração do projeto: T. M. B. Santos and C. Kiefer. Supervisão: T. M. B. Santos. Escrita original: E. M. Rosa. Revisão e edição: E. M. Rosa, C. A. N. Xavier, C. Kiefer, L. D. O. Arruda, W. R. Andrade, D. S. Sanches, E. R. M. Garcia and, T. M. B. Santos.

Referências

1. Silva ADL, Moreira JÁ, Oliveira RLR, Mota LC, Teixeira ENM, Souza JG, Oliveira RGP. Qualitative feed restriction for late finishing pigs on meat quality and fatty acid profile. *Semina: Ciências Agrárias*. 2016; 37(4): 2343-2353. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2016v37n4Supl1p2343>
2. Njoku C, Adeyemi O, Sanwo K, Sanya B, Popoola A, Aina A. Effects of qualitative and quantitative feed restriction

on carcass yield and pork quality. *Polish Journal of Natural Sciences*. 2018; 33(1): 29-48. http://www.uwm.edu.pl/polish-journal/sites/default/files/issues/articles/njoku_et_al_2018_0.pdf

3. Vasconcelos TS, Thomaz MC, Castellini FR, Alvarenga PVA, Oliveira JÁ, Ramos GF, Santos Ruiz U. Evaluation of pineapple byproduct at increasing levels in heavy finishing pigs feeding. *Animal Feed Science and Technology*. 2020; 269(1): 114664. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114664>

4. Santos APD, Kiefer C, Martins LP, Fantini CC. Restrição alimentar para suínos machos castrados e imunocastrados em terminação. *Ciência Rural*. 2012; 42(1): 147-153. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782012000100024>

5. Evans GW, Bowman TD. Chromium picolinate increases membrane fluidity and rate of insulin internalization. *Journal of Inorganic Biochemistry*. 1992; 46(4): 243-250. [https://doi.org/10.1016/0162-0134\(92\)80034-S](https://doi.org/10.1016/0162-0134(92)80034-S)

6. Vincent JB. Effects of chromium supplementation on body composition, human and animal health, and insulin and glucose metabolism. *Current Opinion in Clinical Nutrition & Metabolic Care*. 2019; 22(6): 483-489. <https://doi.org/10.1097/MCO.0000000000000604>

7. Farias TVA, Kiefer C, Nascimento KMRDS, Corassa A, Alencar SADS, Rodrigues GP, Santos APD. Chromium and energy restriction as substitutes for ractopamine in finishing gilts diet. *Ciência Rural*. 2022; 52(1): e20200736. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20200736>

8. Ele T, Wei C, Lin X, Wang B, Yin G. Meta-analysis of the effects of organic chromium supplementation on the growth performance and carcass quality of weaned and growing-finishing pigs. *Animais*. 2023; 13(12): 2014. <https://doi.org/10.3390/ani13122014>

9. Leal RS, Mattos BOD, Cantarelli VDS, Carvalho GCD, Pimenta MEDSG, Pimenta CJ. Performance and carcass yield of pig fed diets containing different levels of ractopamine. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*. 2015; 16(1): 582-590. <https://doi.org/10.1590/S1519-99402015000300010>

10. Pompeu MA, Rodrigues LA, Cavalcanti LFL, Fontes DO, Toral FLB. A multivariate approach to determine the factors affecting response level of growth, carcass, and meat quality traits in finishing pigs fed ractopamine. *Journal of Animal Science*. 2017; 95(4): 1644-1659. Disponível em: <https://doi.org/10.2527/jas.2016.118>

11. Rickard JW, Allee GL, Rincker PJ, Gooding JP, Acheson RJ, McKenna DR, Carr SN. Effects of ractopamine hydrochloride on the growth performance and carcass characteristics of heavy-weight finishing pigs sent for slaughter using a 3-phase marketing strategy. *Translational Animal Science*. 2017; 1(1): 406-411. <https://doi.org/10.2527/tas2017.0053>

12. Andretta I, Kipper M, Lehnen CR, Demori AB, Remus A, Lovatto PA. Meta-analysis of the relationship between ractopamine and dietary lysine levels on carcass characteristics in pigs. *Livestock Science*. 2012; 143(1):91-96. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2011.09.004>

13. Almeida VVD, Nuñez AJC, Miyada VS. Ractopamine as a metabolic modifier feed additive for finishing pigs: a review. *Brazilian Archives of Biology and Technology*. 2012; 55: 445-456. <https://doi.org/10.1590/S1516-89132012000300016>

14. Rostagno HS, Albino LFT, Donzele JL, Gomes PC, Oliveira RD, Lopes DC, Euclides RF. Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais. 3ª Ed. Viçosa: UFV, 2011. 252p.

15. Apha - American Public Health Association. Standard methods for the examination of water and wastewater. 24th ed. Washington DC: APHA, AWWA, WEF, 2023, 1624p.

16. Ripley LE, Boyle WC, Converse JC. Improved alkalimetric monitoring for anaerobic digestion of high-strength wastes. *Journal Water Pollution Control Federation*. 1986; 58(1): 406-411. <https://www.jstor.org/stable/25042933>

17. Jenkins SR, Morgan JM, Zhang X. Measuring the usable carbonate alkalinity of operating anaerobic digesters. *Journal Water Pollution Control Federation*. 1991; 63(1): 28-34. <https://www.jstor.org/stable/25043948>

18. Silva DJ, Queiroz AC. *Análise de Alimentos (métodos químicos e biológicos)*, 3ª Ed. Viçosa: UFV, 2006. 235p.

19. Perkin-Elmer Corporation. *Analytical methods for anatomic absorption spectrophotometry*. Morwalk, 1996. 300p.

20. Malavolta E, Vitti GC, Oliveira SA. Micronutrientes, uma visão geral. In: Ferreira ME, Cruz MC. *Micronutrientes*

na agricultura. Piracicaba: POTAFOS/CNPq, 1991. p.1-33.

21. González-Fernández C, García-Encina. Impact of substrate to inoculum ratio in anaerobic digestion of swine slurry. *Biomass and Bioenerg.* 2009; 33(8): 1065-1069. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2009.03.008>
22. Astals S, Ariso M, Galí A, Mata-Alvarez J. Co-digestion of pig manure and glycerine: Experimental and modelling study. *Journal of Environmental Management.* 2011; 92(4): <https://doi.org/1091-1096>, 10.1016/j.jenvman.2010.11.014
23. Coca FOCG, Xavier CAN, Andrade WR, Arruda LDO, Gonçalves LMP, Kiefer C, Santos TMB. Produção de biogás com dejetos de suínos – efeito de energia líquida e ractopamina da dieta. *Archivos de Zootecnia.* 2016; 65(252): 507-512. <https://doi.org/10.21071/az.v65i252.1918>
24. Morozova I, Nikulina N, Oechsner H, Krümpel J, Lemmer A. Effects of Increasing Nitrogen Content on Process Stability and Reactor Performance in Anaerobic Digestion. *Energies.* 2020; 13(5): 1139. <https://doi.org/10.3390/en13051139>
25. Agyeman FO, Han Y, Tao W. Elucidating the kinetics of ammonia inhibition to anaerobic digestion through extended batch experiments and stimulation-inhibition modeling. *Bioresource technology.* 2021; 340(1): 125744. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125744>
26. Nguyen VK, Chaudhary DK, Dahal RH, Trinh NH, Kim J, Chang SW, Nguyen DD. Review on pretreatment techniques to improve anaerobic digestion of sewage sludge. *Fuel.* 2021. 285(1): 119105p. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.119105>
27. Zamri MFMA, Hasmady S, Akhbar A, Ideris F, Shamsuddin AH, Mofijur M, Mahlia TMI. A comprehensive review on anaerobic digestion of organic fraction of municipal solid waste. *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* 2021; 137 (1):110637. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032120309217>
28. Zhang W, Li L, Xing W, Chen B, Zhang L, Li A, Yang T. Dynamic behaviors of batch anaerobic systems of food waste for methane production under different organic loads, substrate to inoculum ratios and initial pH. *Journal of bioscience and bioengineering.* 2019; 128(6): 733-743. <https://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2019.05.013>
29. Kothari R, Pandey AK, Kumar S, Tyagi VV, Tyagi SK. Different aspects of dry anaerobic digestion for bio-energy: an overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* 2014; 39(1): 174-195. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.011>
30. Xu F, Li Y, Ge X, Yang L, Li Y. Anaerobic digestion of food waste - challenges and opportunities. *Bioresource Technology.* 2018; 247(1): 1047-1058. <https://10.1016/j.biortech.2017.09.020>
31. Li Y, Chen Y, Wu J. Enhancement of methane production in anaerobic digestion process: a review. *Applied Energy.* 2019; 240(1): 120-137. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.01.243>
32. Atelge MR, Atabani AE, Banu JR, Krisa D, Kaya M, Eskicioglu C, Duman, FATİH. A critical review of pretreatment technologies to enhance anaerobic digestion and energy recovery. *Fuel.* 2020; 270(1): 117494. <https://doi.org/117494,10.1016/j.fuel.2020.117494>
33. Santos T, Trevizan PS, Xavier CA, Kiefer C, Ferraz AL. Biodigestão anaeróbia de dejetos de suínos em terminação suplementados com ractopamina por diferentes períodos. *Engenharia Agrícola.* 2016; 36(1): 399-407. <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v36n3p399-407/2016>
34. Mao C, Feng Y, Wang X, Ren G. Review on research achievements of biogas from anaerobic digestion. *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* 2015; 45(1): 540-555. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.02.032>
35. Hakawati R, Smyth BM, McCullough G, Rosa F, Rooney D. What is the most energy efficient route for biogas utilization: heat, electricity or transport? *Applied Energy.* 2017; 206(1): 1076-1087. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.08.068>