

## **DIGESTÃO ANAERÓBIA DE EFLUENTE BRUTO E LODO FLOTADO DE ABATEDOURO DE AVES: AVALIAÇÃO DA RELAÇÃO A/M E DA INFLUÊNCIA DO TEOR DE LODO FLOTADO NA PRODUÇÃO DE BIOGÁS**

**Thays Majara Silva Araujo**

Mestre no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, UNIOESTE, campus Cascavel

**Simone Damasceno Gomes**

Docente no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, UNIOESTE, campus Cascavel

**Divair Christ**

Docente no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, UNIOESTE, campus Cascavel

**Kátia Cristina Fagnani**

Dr. no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, UNIOESTE, campus Cascavel

**Tatiane Martins de Assis**

Dr. no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, UNIOESTE, campus Cascavel

**Tamiris Uana Tonello**

Dr. no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, UNIOESTE, campus Cascavel

**Aruane Leticia da Silva Tomoto**

Dr. no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, UNIOESTE, campus Cascavel

**Rodrigo Sequinel**

Docente de Química Analítica no Departamento de Engenharias e Exatas da UFPR, campus Palotina, PR

**Guilherme Fagnani de Souza**

Discente de graduação Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia, UFPR, campus Palotina, PR

### **RESUMO**

Os abatedouros de aves são geradores de grandes volumes de efluentes com alto teor de matéria orgânica e lipídios. Entre as alternativas disponíveis para tratamento a digestão anaeróbia proporciona a transformação desses efluentes em biogás. O objetivo desse trabalho foi avaliar a codigestão anaeróbia do lodo fresco do flotador ao efluente bruto de um abatedouro de aves. Os ensaios de codigestão foram desenvolvidos em reatores (500 mL de volume total e 300 mL de volume útil), operados em batelada em condições mesofílicas ( $30 \pm 1^\circ\text{C}$ ), com tempo de incubação de 108 dias. Foi adotado um planejamento experimental do tipo Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR), compreendido por um fatorial  $2^2$  com quatro ensaios nos níveis +1 e -1, quatro ensaios nos níveis dos pontos axiais (-1,414 e +1,414) e mais uma triplicata no ponto central (0), as variáveis respostas foram: produção acumulada de  $\text{CH}_4$  (L) e rendimento  $\text{CH}_4$  (L  $\text{CH}_4/\text{g SV}$  adicionado), foram testados cinco níveis de adição de lodo fresco do flotador (v/v) (15,9; 20; 30; 40 e 43,5%) e cinco níveis de relação alimento/microrganismo (A/M) (0,3; 0,5; 1,0; 1,5 e 1,7). Os resultados nos ensaios em batelada não

indicaram efeito significativo para as variáveis respostas: rendimento acumulado de CH<sub>4</sub> e produção acumulada de CH<sub>4</sub>. Porem os reatores R1, R10 e R7 demonstraram melhor eficiência na conversão de matéria orgânica em biogás, com rendimentos de 0,83; 0,80 e 0,71 L CH<sub>4</sub>/g SV adicionado respectivamente para cada reator.

**Palavras-chave:** Agroindústria. Tratamento de águas residuais. Metano. Digestão anaeróbia.

## 1 INTRODUÇÃO

Em 2023, o Brasil foi o segundo maior produtor mundial de carne de frango e o maior exportador, com o Paraná representando 39,47% do volume abatido no país (ABPA, 2024). O crescimento e expansão da atividade avícola no Estado do Paraná estão associados à geração de efluentes com alta carga orgânica durante o processamento de proteína animal.

O aumento da produção de carne de frango no Brasil é um dos fatores que contribuem para a geração de efluentes líquidos, tendo em vista que a quantidade de água gerada por ave abatida pode variar de 15 a 30 litros. Além disso, há a contribuição das águas usadas na limpeza de instalações e equipamentos da indústria. Além dos grandes volumes de efluentes gerados, os mesmos apresentam heterogeneidade, sendo constituídos por matéria orgânica, nutrientes, sólidos e óleos e graxas. (KUSHWAHA et al., 2010; THEBALDI et al., 2011, DALLAGO et al., 2012). Usualmente o processo de tratamento empregado é composto por flotação físico-química, seguido de um sistema biológico, que pode ser composto por lagoas anaeróbias, biodigestores, lagoas aeradas e/ou sistemas de lodos ativados (HABCHI et al, 2024; FAGNANI, 2023; BUSTILLO-LECOMPTE; MEHRVAR, 2017).

O lodo do flotador (LF) é um dos resíduos resultantes da etapa do tratamento físico-químico do efluente líquido gerado nos processos de abate de frangos. No flotador é injetado ar por difusores, produzindo microbolhas que, por meio do fluxo ascendente, são responsáveis por carrear uma fração dos sólidos contidos na água residuária até a superfície superior do tanque. Em seguida, um raspador mecânico remove o material flotado que, normalmente, é encaminhado para uma unidade de cozimento à temperatura de 95 °C. Após o cozimento o lodo é enviado para centrifugas trifásicas (tridecanter) (FAGNANI, 2023; RESTREPO, 2019).

A digestão anaeróbia tem sido apontada na literatura como uma tecnologia sustentável para a estabilização do lodo do flotador, porém a monodigestão desse resíduo pode estar relacionada a toxicidade devido a presença de amônia e excesso de gorduras (SALEHIYOUN et al. 2020; PAGÉS-DÍAZ et al, 2015).

Recentemente tem surgido estudos que relacionam melhorias no desempenho do processo, com a codigestão com resíduos ricos em carbono (DAMACENO, 2022; RESTREPO, 2019). A codigestão é realizada a partir de misturas de dois ou mais substratos: biomassa ou resíduo, que se complementam sinergicamente, de maneira a favorecer a produção de biogás. A codigestão anaeróbia apresenta

vantagens sobre a digestão de resíduos individuais (monodigestão) como a diluição de componentes tóxicos ou mesmo a adição de nutrientes ao meio. (MATA-ALVAREZ et al., 2014).

Dessa forma o uso do lodo fresco do flotador como substrato para a digestão anaeróbia possibilita a redução de custos, como o uso de vapor para cozimento e de equipamentos para a desidratação desse material, bem como o transporte até os pátios de compostagem. Este estudo visa o aproveitamento energético, por meio da codigestão anaeróbia do lodo fresco do flotador adicionado ao efluente bruto de um abatedouro de aves.

## 2 OBJETIVO

Avaliar a codigestão anaeróbia do lodo fresco do flotador com o efluente bruto de um abatedouro de aves, identificando a melhor proporção de lodo flotado e a relação alimento/microrganismo (A/M) para otimizar a produção de biogás (CH<sub>4</sub>).

## 3 METODOLOGIA

O experimento foi realizado no Laboratório de Reatores Biológicos (LAREB). O monitoramento e a realização de análises físico-químicas no Laboratório de Saneamento Ambiental, ambos localizados no bloco H da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, campus de Cascavel.

Os ensaios de codigestão anaeróbia foram realizados em reatores em escala de laboratório (500 mL de volume total e 300 mL de volume útil) sendo 200 mL de *headspace*. Operados em batelada em condições mesofílicas (30 ± 1 °C). Os substratos utilizados foram provenientes da Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) de um abatedouro de aves, localizado na região Oeste do Paraná. Sendo eles: 1) lodo fresco do flotador e 2) efluente bruto. Cada uma das amostras foi diluída com base na DQO da mistura dos substratos e inoculados com lodo anaeróbio padronizado para uma concentração de 2000 mg L<sup>-1</sup> de SSV. (NING et al., 2018).

Os reatores foram agitados manualmente uma vez ao dia, com o objetivo de aumentar o contato entre os microrganismos e o substrato. Antes da vedação dos frascos foi realizada a purga do oxigênio por borbulhamento com nitrogênio gasoso (pressão de 5 psi, durante 5 minutos) assegurando a anaerobiose no interior do reator. Dessa forma, na Tabela 6 são apresentados os percentuais de efluente bruto e do lodo fresco do flotador e os valores de A/M para cada um dos tratamentos do DCCR.

**Tabela 1** Percentuais de lodo fresco do flotador e valores de A/M dos tratamentos do DCCR

Tratamentos	Relação A/M	Teor do lodo fresco do flotador (%, v/v)
R1	0,5	20
R2	1,0	30
R3	1,5	40
R4	1,5	40
R5	1,0	30
R6	1,0	30

R7	0,3	15,9
R8	1,7	43,5
R9	1,0	30
R10	1,0	30
R11	1,0	30

Legenda: A: alimento; M: microrganismo.

A DQO de cada um dos tratamentos foi calculada com base na DQO da mistura dos substratos (LF+EB), onde cada tratamento representava um teor do lodo fresco do flotador adicionado. Os reatores foram inoculados com 10% de inóculo (v/v) 30 ml. A alcalinidade das misturas foi ajustada em 0,5 gNaHCO / gDQO afluente e o ensaio teve duração de 108 dias.

A medição de volume de biogás foi realizada diariamente por meio de manômetro digital (modelo HT-1890; pressão máxima de 7030,7 mmH<sub>2</sub>O; temperatura de operação de 0 a 50°C) e seringa de plástico. O manômetro digital foi utilizado de modo a mensurar a pressão no interior do reator e o volume coletado na seringa foi obtido ao equalizar esta pressão com a pressão atmosférica. A produção de biogás foi monitorada até que o volume diário fosse menor que 1% do volume acumulado, a partir dos critérios estabelecidos pela norma VDI 4630 (2006). Os parâmetros utilizados para determinação foram obtidos ao final do experimento e as variáveis respostas: produção acumulada de CH<sub>4</sub> (L) e rendimento CH<sub>4</sub> (L CH<sub>4</sub>/g SV adicionado)

## 4 DESENVOLVIMENTO

### 4.1 EFEITOS DAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES NO DCCR

A análise da influência dos fatores objetivou avaliar as melhores condições para o processo da codigestão anaeróbia do lodo fresco do flotador com o efluente bruto de um abatedouro de aves nas faixas investigadas.

**Tabela 2** - Matriz do planejamento (DCCR) com os fatores e os resultados obtidos para as variáveis respostas: produção acumulada de CH<sub>4</sub> (L) e rendimento CH<sub>4</sub> (L CH<sub>4</sub>/g SV adicionado)

Reator	Fatores (valores reais)		Variáveis respostas	
	Lodo fresco do flotador (%), v/v	Relação (A/M) (gDQO/gSSV)	Produção acumulada CH <sub>4</sub> (L)	Rendimento CH <sub>4</sub> (L CH <sub>4</sub> /g SV adicionado)
R1	-1 (20)	-1 (0,5)	0,36	0,83
R2	+1 (40)	-1 (0,5)	0,15	0,13
R3	-1 (20)	+1 (1,5)	0,11	0,10
R4	+1 (40)	+1 (1,5)	0,57	0,53
R5	-1,414 (15,9)	0 (1)	0,15	0,22
R6	+1,414 (43,5)	0 (1)	0,22	0,26
R7	0 (30)	-1,414 (0,3)	0,31	0,71
R8	0 (30)	+1,414 (1,7)	0,09	0,07
R9	0 (30)	0 (1)	0,29	0,44
R10	0 (30)	0 (1)	0,52	0,80
R11	0 (30)	0 (1)	0,30	0,29

Na Tabela 2 é apresentada a matriz do planejamento, obtida pela aplicação do Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR), com as respectivas variáveis respostas. As relações

alimento/microrganismo entre 0,5 e 1 gDQO/gSSV proporcionaram os maiores rendimentos de CH<sub>4</sub> (L CH<sub>4</sub>/g SV adicionado) na fase final sendo 0,83 CH<sub>4</sub> (L CH<sub>4</sub>/g SV adicionado) para o reator R1 e 0,80 CH<sub>4</sub> (L CH<sub>4</sub>/g SV adicionado) para o reator R10.

Na prática a relação A/M, não é um parâmetro que seja monitorado com rigor na indústria, essa relação pode ter afetado os efeitos estimados do DCCR, visto que nenhum foi significativo (além da média). Os tratamentos com maior relação A/M resultaram em maior produção de CH<sub>4</sub> (L) e maior rendimento de CH<sub>4</sub> (L CH<sub>4</sub>/g SV adicionado). Em particular, os tratamentos R1, R4, R7 e R10 apresentaram os maiores valores de produção acumulada de CH<sub>4</sub>.

Em comparação com o rendimento cumulativo de metano de resíduos de abatedouro de suínos ricos em lipídios (SSW) para cargas iniciais de 10–40 g SV / L aumentou rapidamente para mais de 800 mL / g SV em relações A/M de 0,7 e 1 durante os primeiros 25 dias. No entanto, demorou mais de 35 dias para que o rendimento cumulativo de metano atingisse 800 mL / g SV a uma razão A/M de 1,5, e 50 dias foram necessários para razões A/M de 2 e 2,5 com cargas iniciais de 10-40 g SV / L. Esses resultados mostraram que razões A/M mais altas prolongaram a conversão de resíduos de abatedouro de suínos ricos em lipídios para metano, enquanto razões A/M mais baixas de 0,7 e 1 promoveram a conversão de resíduos de abatedouro de suínos ricos em lipídios para metano em menos de 25 dias (LATIFI et al., 2019).

Os maiores rendimentos de biogás e metano nos experimentos relatados por Ning et al., (2018) foram por 0,631 m<sup>3</sup>/kg-SV adicionado para os reatores em batelada e 0,462 m<sup>3</sup>/kg-SV adicionado no digestor em maior escala, obtido com remoção de 66% de sólidos voláteis (SV). Os parâmetros otimizados obtidos na primeira fase também foram utilizados para verificação em maior escala (20 litros), onde os rendimentos de biogás e metano encontrados foram de 0,574 e 0,402 m<sup>3</sup> /kg-SV adicionado; respectivamente. Os resultados mostraram que a digestão anaeróbia ideal de resíduos de matadouro em digestor de 20 litros pode levar a 63% de remoção de SV e 88% de redução da demanda química de oxigênio (DQO) durante um período de retenção de 42 dias. Além disso os substratos utilizados nesse experimento podem ser utilizados em escala maior a fim de verificar seu comportamento em termos de remoção de SV e produção acumulada de CH<sub>4</sub> (NING et al., 2018).

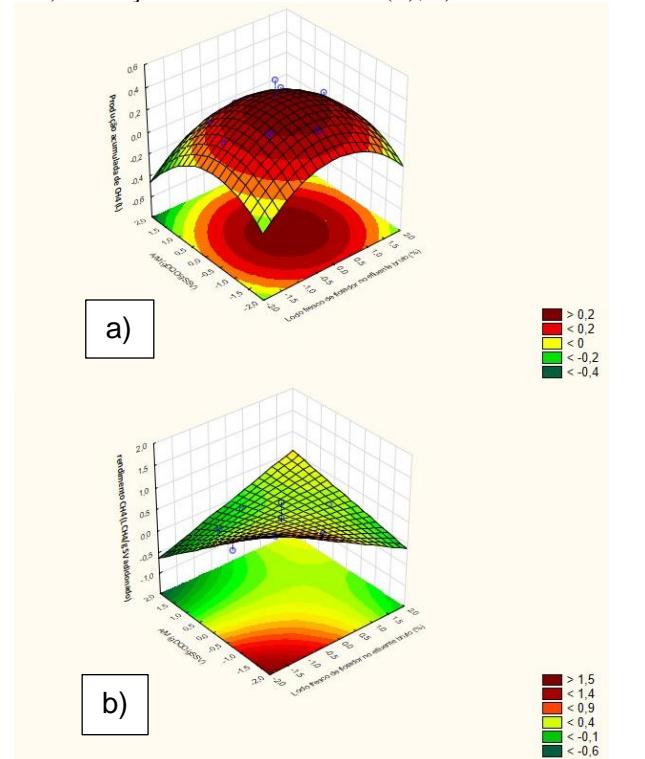
A regressão para os dados apresentou R<sup>2</sup>=0,38, representando 38% da variação da eficiência de produção. Os dados relativos aos resultados da análise de variância (ANOVA) do modelo são apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2 - Análise de Variância (ANOVA)**

Fonte de variação	Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	Fcal	F tab
Regressão	0,06	2	0,03	2,5	4,46
Resíduo	0,1	8	0,01		
Erro puro	0,06	7	0,01		
Total	0,16	10			

A ANOVA indicou que o modelo obtido não pode ser considerado predito, uma vez que para um nível de confiança de 10%, o teste F indicou um F calculado inferior ao F tabelado. Ainda assim, a partir desses resultados foram geradas superfícies de resposta a fim de verificar as regiões experimentais que possuem as melhores respostas, representadas na Figura 1.

No entanto, quando relaciona as variáveis produção acumulada e rendimento (Figura 1 a), verifica-se que a melhor produção ocorre próximo aos pontos centrais, como está indicado no gráfico. E que a variável rendimento não apresenta efeito significativo com intervalo de confiança de 90% ( $p<0,10$ ).

**Figura 1 - Superfícies de resposta. a) Produção acumulada de CH4 (L); b) Rendimento de CH4 (L CH4/g SV adicionado)**


#### 4.2 MODELAGEM DA PRODUÇÃO DE METANO

O efeito da adição do lodo fresco do flotador também foi avaliado pelo cálculo dos parâmetros de desempenho da reação para as variáveis respostas: produção máxima de CH4 (P), velocidade específica máxima (Rm), e tempo de duração da fase lag ou tempo de atraso, ( $\lambda$ ), utilizando o modelo de Gompertz modificado (ZWIETERING et al., 1990).

De acordo com o modelo de Gompertz foi estimada uma produção final máxima de 462586,84

mL/g SSV para o reator R4, e 72095,63 mL/g SSV para o reator R6. Os reatores em estudo referentes ao DCCR que não apresentaram tempo de fase lag, foram R3, R5 e R8. Labatut et al. (2010) avaliaram que em cada fase da digestão anaeróbia seria possível observar uma cinética diferente, considerando a características dos substratos e a possibilidade de conversão de substratos em diferentes produtos intermediários.

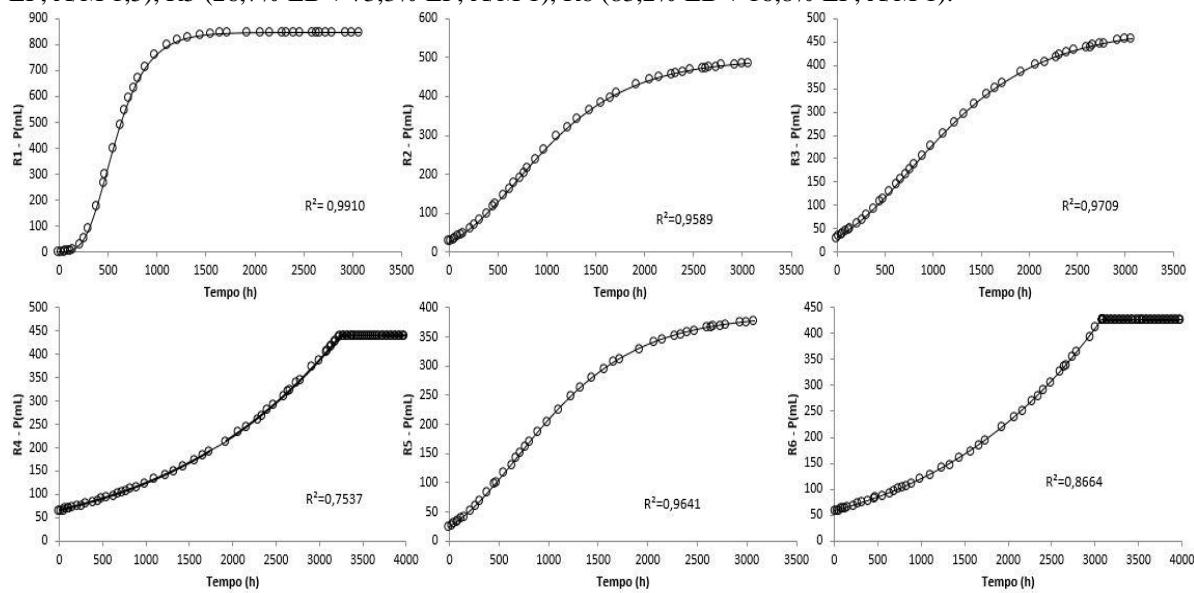
Na Tabela 3 são apresentados os parâmetros cinéticos obtidos a partir do modelo citado, na matriz do planejamento, construída pela aplicação do DCCR.

**Tabela 3** - Matriz do planejamento (DCCR) com os fatores reais e os resultados dos parâmetros cinéticos obtidos a partir do modelo de Gompertz modificado

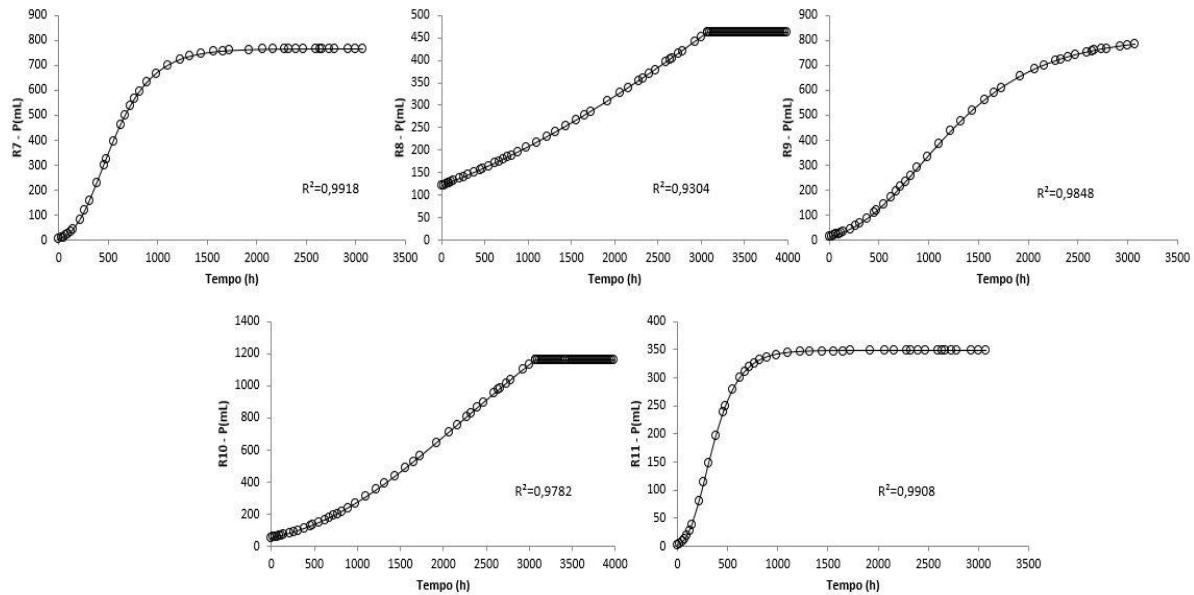
Reator	Fatores (valores reais)		Parâmetros cinéticos		
	Lodo fresco do flotador (%)	Relação (A/M) (gDQO/gSSV)	Produção acumulada CH <sub>4</sub> (L)	Rm (mL/h)	λ (h)
R1	-1 (20)	-1 (0,5)	0,36	1,38	262,40
R2	+1 (40)	-1 (0,5)	0,15	0,29	49,87
R3	-1 (20)	+1 (1,5)	0,11	0,23	0,00
R4	+1 (40)	+1 (1,5)	0,57	12,73	15796,94
R5	-1,414 (15,9)	0 (1)	0,15	0,21	0,00
R6	+1,414 (43,5)	0 (1)	0,22	2,82	9037,88
R7	0 (30)	-1,414 (0,3)	0,31	1,02	161,68
R8	0 (30)	+1,414 (1,7)	0,09	0,15	0,00
R9	0 (30)	0 (1)	0,29	0,45	252,74
R10	0 (30)	0 (1)	0,52	0,46	519,02
R11	0 (30)	0 (1)	0,30	0,72	105,14

As figuras 2 e 3 demonstram as estimativas realizadas para o ajuste do modelo de Gompertz modificado, obtidas na produção do metano a partir da codigestão do lodo fresco do flotador e efluente bruto no ensaio em batelada (DCCR) para os reatores R1 a R11.

**Figura 2** - Estimativas para ajuste do modelo de Gompertz modificado, obtidas na produção do metano a partir da codigestão do lodo fresco do flotador e efluente bruto no ensaio em batelada (DCCR) para os reatores R1 a R6. **Notas:** R1 (34% EB + 65% LF, A/M 0,5), R2 (75,9% EB + 24% LF, A/M 0,5), R3 (35% EB + 65% LF, A/M 1,5), R4 (75,9% EB + 24% LF, A/M 1,5), R5 (26,7% EB + 73,3% LF, A/M 1), R6 (83,2% EB + 16,8% LF, A/M 1).



**Figura 3** - Estimativas para ajuste do modelo de Gompertz modificado, obtidas na produção do metano a partir da codigestão do lodo fresco do flotador e efluente bruto no ensaio em batelada (DCCR) para os reatores R7 a R11. **Notas:** R7 (55,4% EB + 44,6% LF, A/M 0,3), R8 (55,4% EB + 44,6% LF, A/M 1,7), R9, R10 e R11 (55,4% EB + 44,6% LF, A/M 0,1).



Porém, observou-se que o modelo de Gompertz modificado não se demonstrou adequado para descrever as curvas de produção acumulada de biogás ao apresentar coeficientes de determinação ( $R^2$ ). Exceto para os reatores R1, R7 e R11 pois estes apresentaram sinais de estabilização da produção de biogás, apresentando os maiores coeficientes de correlação linear entre os tratamentos.

Ware e Power (2016) em um estudo sobre resíduos de abatedouros de aves também demonstraram que as curvas cumulativas de metano podem emergir em várias formas e foi possível classificá-las em três grupos: em forma de L, em forma de S alongada e curvas em degrau. Outro

aspecto mencionado por esses autores foi a importância de não atribuir a validade dos modelos apenas em função dos valores de  $R^2$ , em comparação com o modelo logístico e Gompertz embora tenha ajustado os dados dentro do período de incubação fornecido para os resultados experimentais ( $R^2$  maior que 99), como demonstrado na Figura 2 para os reatores R2, R4 e R6 e na Figura 3 o reator R10.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando os resultados obtidos, em relação ao potencial da produção de metano na codigestão do lodo fresco do flotador e efluente bruto de um abatedouro de aves em reatores em batelada, pode-se concluir que: A análise estatística indicou que o modelo obtido não pode ser considerado predito para um nível de confiança de 10%. Porém o comportamento das variáveis respostas nos modelos quadráticos da produção acumulada de  $CH_4$  (L) e rendimento  $CH_4$  (L  $CH_4/g$  SV adicionado) baseada nas variáveis independentes (lodo fresco do flotador %, v/v e relação A/M ( $gDQO/gSSV$ )) indicaram maiores valores de produção acumulada de  $CH_4$  entre as misturas que continham maior percentual de lodo fresco do flotador.

Os resultados indicam que a melhor relação A/M para otimizar o rendimento de metano está entre 0,3 e 1, com destaque para 0,5  $gDQO/gSSV$ . Além disso, os reatores R1, R10 e R7 demonstraram melhor eficiência na conversão de matéria orgânica em biogás, com rendimentos de 0,83; 0,80 e 0,71 L  $CH_4/g$  SV adicionado respectivamente para cada reator.

## AGRADECIMENTOS

Aos professores e colegas do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola PGEAGRI e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

## REFERÊNCIAS

ABPA - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL. Relatório anual 2024. [S.I.]: ABPA, 2024.

APHA; AWWA; WEF. Standard methods for examination of water and wastewater. 23. ed. Washington: American Public Health Association; American Water Works Association; Water Environmental Federation, 2017.

BUSTILLO-LECOMPTE, C. F.; MEHRVAR, M. Treatment of actual slaughterhouse wastewater by combined anaerobic-aerobic processes for biogas generation and removal of organics and nutrients: an optimization study towards a cleaner production in the meat processing industry. *Journal of Cleaner Production*, v. 141, p. 278-289, 2017.

CIRNE, D. G.; PALOUMET, X.; BJÖRNSSON, L.; ALVES, M. M.; MATTIASSON, B. Anaerobic digestion of lipid-rich waste – effects of lipid concentration. *Renewable Energy*, v. 32, n. 6, p. 965-975, 2007.

DAMACENO, F. M.; CHIARELOTTO, M.; RESTREPO, J. C. P. S.; BULIGON, E. L.; MENDONÇA COSTA, L. A.; LUCAS JUNIOR, J.; COSTA, M. S. S. M. Anaerobic co-digestion of sludge cake from poultry slaughtering wastewater treatment and sweet potato: energy and nutrient recovery. *Renewable Energy*, v. 133, p. 489-499, 2019.

DAMACENO, F. M.; BASTOS, J. A.; LIMA ALINO, J. H.; REMOR, P. V.; SILVA DE MENDONÇA COSTA, M. S.; EDWIGES, T. Effect of thermal, alkaline, and thermal-alkaline pretreatments on the anaerobic digestion of poultry slaughterhouse waste. *Environmental Engineering & Management Journal*, v. 21, n. 5, 2022.

ELSAYED, M.; ANDRES, Y.; BLEL, W.; GAD, A.; AHMED, A. Effect of vs organic loads and buckwheat husk on methane production by anaerobic co-digestion of primary sludge and wheat straw. *Energy Conversion and Management*, v. 117, p. 538-547, 2016.

ENOKIDA, C. H.; TAP paro, D. C.; ANTES, F. G.; STEINMETZ, R. L. R.; MAGRINI, F. E.; SOPHIATTI, I. V. M.; KUNZ, A. Anaerobic codigestion of livestock manure and agro-industrial waste in a CSTR reactor: operational aspects, digestate characteristics, and microbial community dynamics. *Renewable Energy*, v. 238, 121865, 2025.

FAGNANI, K. C. Comparação do potencial energético do lodo gerado no tratamento físico-químico de efluentes provenientes do abate de aves utilizando diferentes coagulantes. 2017. 142 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologias de Bioproductos Agroindustriais) - Universidade Federal do Paraná, Palotina, 2017.

FAGNANI, K. C. Valorização energética de lodos de sistema de tratamento de efluentes da indústria de abate e processamento de carnes via codigestão anaeróbia. 2023. 166 f. Tese (Doutorado) - [S.I.: s.n.], 2023.

HABCHI, S.; PECHA, J.; ŠÁNEK, L.; KAROUACH, F.; EL BARI, H. Sustainable valorization of slaughterhouse waste through anaerobic digestion: a circular economy perspective. *Journal of Environmental Management*, v. 366, 121920, 2024.

LATIFI, P.; KARRABI, M.; DANESH, S. Anaerobic co-digestion of poultry slaughterhouse wastes with sewage sludge. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 107, p. 288-296, 2019.

LATIFI, P.; KARRABI, M.; SHAHNAVAZ, B. Estimating the potential of energy generation by anaerobic digestion of slaughterhouse wastes toward sustainable waste management strategy: a case study. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, p. 1-12, 2021.

MALLMANN, L. S. Potencial de produção de metano de bovinos submetidos à dieta suplementada com resíduo úmido de cervejaria. 2013. 89 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2013.

NING, Z.; ZHANG, H.; LI, W.; ZHANG, R.; LIU, G.; CHEN, C. Anaerobic digestion of lipid-rich swine slaughterhouse waste: methane production performance, long-chain fatty acids profile and predominant microorganisms. *Bioresource Technology*, v. 269, p. 426-433, 2018.

OLIVEIRA, A. B. D. M.; ORRICO, A. C. A.; JUNIOR, M. A. P. O.; SILVA SUNADA, N.; CENTURION, S. R. Biodigestão anaeróbia de efluente de abatedouro avícola. *Ceres*, v. 58, n. 6, 2015.

PAGÉS-DÍAZ, J.; WESTMAN, J.; TAHERZADEH, M. J.; PEREDA-REYES, I.; HORVÁTH, I. S. Semi-continuous co-digestion of solid cattle slaughterhouse wastes with other waste streams: interactions within the mixtures and methanogenic community structure. *Chemical Engineering Journal*, v. 273, p. 28-36, 2015.

RAGASRI, S.; SABUMON, P. C. A critical review on slaughterhouse waste management and framing sustainable practices in managing slaughterhouse waste in India. *Journal of Environmental Management*, v. 327, 116823, 2023.

RESTREPO, J. C. P. S. Codigestão anaeróbia de lodo de flotador do abate de frangos e caldo de cana-de-açúcar. 2019. 64 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2019.

RESTREPO, J. C. P. S.; DAMACENO, F. M.; CHIARELOTTO, M.; BOFINGER, J.; NIEDZIAŁKOSKI, R. K.; MENDONÇA COSTA, L. A.; MENDONÇA COSTA, M. S. S. Sugarcane juice improves energy production in the anaerobic co-digestion with flotation sludge from broiler slaughter. *Fuel*, v. 330, 125577, 2022.

SALEHIYOUN, A. R.; DI MARIA, F.; SHARIFI, M.; NOROUZI, O.; ZILOUEI, H.; AGHBASHLO, M. Anaerobic co-digestion of sewage sludge and slaughterhouse waste in existing wastewater digesters. *Renewable Energy*, v. 145, p. 2503-2509, 2020.