

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
CÂMPUS MEDIANEIRA  
ESPECIALIZAÇÃO EM TECNOLOGIAS DA CADEIA PRODUTIVA DO BIOGÁS**

**WILLIAM CARLOS MARENDA**

**IMPACTO DA VARIAÇÃO DE TEMPERATURA DE INCUBAÇÃO NA  
PRODUÇÃO DE BIOGÁS EM ENSAIOS DE POTENCIAL  
BIOQUÍMICO DE METANO**

**MONOGRAFIA**

**MEDIANEIRA**

**2019**

**WILLIAM CARLOS MARENDA**

**IMPACTO DA VARIAÇÃO DE TEMPERATURA DE INCUBAÇÃO NA  
PRODUÇÃO DE BIOGÁS EM ENSAIOS DE POTENCIAL  
BIOQUÍMICO DE METANO**

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Tecnologias da Cadeia Produtiva do Biogás, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Thiago Edwiges

**MEDIANEIRA**

**2019**



---

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

### **IMPACTO DA VARIAÇÃO DE TEMPERATURA DE INCUBAÇÃO NA PRODUÇÃO DE BIOGÁS EM ENSAIOS DE POTENCIAL BIOQUÍMICO DE METANO**

por

**WILLIAM CARLOS MARENDA**

Esta Monografia foi apresentada em 04 de maio de 2019 como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Tecnologias da Cadeia Produtiva do Biogás. O(a) candidato(a) foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Thiago Edwiges  
Prof.(a) Orientador(a)

---

Eduardo Eyng  
Membro titular

---

Alessandra Freddo  
Membro titular

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso –

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Centro Internacional de Energias Renováveis – Biogás (CIBiogás) pelo suporte técnico e estrutural durante a realização dos ensaios laboratoriais contidos neste estudo.

## RESUMO

MARENDA, William Carlos. **Impacto da variação de temperatura de incubação na produção de biogás em ensaios de potencial bioquímico de metano**. 2019. 24. Monografia (Especialização em Tecnologias da Cadeia Produtiva do Biogás - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2019.

No Brasil resíduos agropecuários são comumente tratados em sistema de digestão anaeróbia (DA) sem aquecimento e isolamento térmico, operando assim em temperaturas ambiente, fora das faixas ideais para DA (37 e 55°C), o que pode ocasionar baixa eficiência e produtividade de biogás nos biodigestores. Para analisar este impacto, resíduos e efluentes resultantes de atividades pecuárias (suinocultura, bovinocultura e avicultura) foram submetidas a ensaios de Potencial Bioquímico de Metano (PBM) em diferentes faixas de temperatura (25, 37 e 55°C). Nos substratos analisados, 80% obtiveram o maior valor de produção de biogás na temperatura de 25°C e o coeficiente de variação entre os resultados de PBM obtidos variaram entre 6% e 15%.

**Palavras-chave:** Biogás. Temperatura. PBM. Potencial Bioquímico de Metano.

## ABSTRACT

MARENDA, William Carlos. **Impact of incubation temperature variation on biogas production in biochemical methane potential**. 2019. 24. Monografia (Especialização em Tecnologias da Cadeia Produtiva do Biogás - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2019.

In Brazil, livestock residues are commonly treated in anaerobic digestion (AD) system without heating and thermal insulation, thus operating at ambient temperatures, outside the ideal AD ranges (37 and 55 ° C), which can cause low efficiency and productivity of biogas in digesters. To analyze this impact, residues and effluents resulting from livestock activities (swine, cattle breeding and poultry) were submitted to Biochemical Methane Potential (BMP) tests in different temperature ranges (25, 37 and 55 ° C). In the analyzed substrates, 80% obtained the highest biogas production value at 25 ° C and the coefficient of variation between the obtained BMP results varied between 6% and 15%.

**Keywords:** Biogas. Temperature. BMP. Biochemical Methane Potential.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>7</b>
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>9</b>
2.1 SUBSTRATOS.....	9
2.2 POTENCIAL BIOQUÍMICO DE METANO (PBM) .....	10
2.3 CONCENTRAÇÃO DE METANO .....	11
2.4 ANÁLISE DOS DADOS EXPERIMENTAIS .....	11
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>12</b>
3.1 TEOR DE SÓLIDOS TOTAIS E VOLÁTEIS .....	12
3.2 POTENCIAL BIOQUÍMICO DE METANO.....	13
3.3 SUINOCULTURA.....	14
3.4 BOVINOCULTURA .....	16
3.5 AVICULTURA .....	17
<b>4 CONCLUSÕES</b> .....	<b>18</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O aumento do consumo de alimentos, atrelado ao aumento da população mundial, resultou em um acréscimo nas atividades pecuárias intensivas e, conseqüentemente, da geração de resíduos orgânicos provenientes destas atividades. Estes, quando não armazenados e tratados adequadamente são responsáveis por poluição de cursos hídricos, solo e ar, sendo um dos principais responsáveis pelas emissões de gases do efeito estufa, especialmente o metano.

A digestão anaeróbia (DA) dos resíduos e efluentes provenientes de atividades pecuárias pode gerar biogás e biofertilizante, além de reduzir a poluição do ar e da água causada pela disposição incorreta destes resíduos. Portanto, a DA tem sido considerada uma solução ambientalmente sustentável, já adotada e integrada em sistema de produção animal no último século, com milhares de biodigestores em escala real operando pelo mundo. A Alemanha é atualmente o país com o maior número de planta de biogás de escala real operando no mundo. (Scarlat, Dallemand, & Fahl, 2018)

O potencial de produção de biogás e metano (PBM) de resíduo orgânico é essencial para se determinar a viabilidade econômica e ambiental da implantação e operação de uma planta de biogás. Diferentes metodologias foram estudadas nas últimas décadas afim de estruturar procedimentos laboratoriais que determinem com precisão este potencial. Por se tratar de um processo complexo e dinâmico onde parâmetros bioquímicos, microbiológicos e físico-químicos estão diretamente vinculados, a definição de um protocolo padrão é um grande desafio (I. Angelidaki, 2009).

Os testes de PBM são padronizados para faixas de temperatura ideais para o desenvolvimento dos microorganismos metanogênicos termofílicos e mesofílicos, 37 e 55°C respectivamente. A Europa é responsável por mais de 68% da potência instalada de plantas de biogás no mundo, sendo que na Alemanha estão instaladas mais da metade destas plantas (Scarlat, Dallemand, & Fahl, 2018). Devido as condições climáticas dos locais destas usinas de biogás, com temperaturas ambientes médias abaixo de 0°C em alguns meses do ano, é obrigatório que seja feito o aquecimento dos reatores anaeróbios,

possibilitando assim fazer o controle da temperatura nas faixas mesofílicas e termofílicas. O Brasil, um país localizado predominantemente em regiões de clima tropical, não possui problemas operacionais resultantes de temperatura ambiente negativa. Na região oeste do Paraná, a temperatura do ar média anual é na faixa de 21 a 23°C (Nitsche, Caramori, Rice, & Pinto, 2019) e, devido a isso, os biodigestores instalados na região usualmente não possuem sistemas de aquecimento e isolamento térmico, operando assim em faixas de temperatura muito próximo a ambiente.

Este trabalho tem como objetivo analisar a influência que a temperatura do reator possui no potencial bioquímico de metano para amostras de resíduos e efluentes orgânicos resultantes das principais atividades pecuárias da região oeste do Paraná (suinocultura, bovinocultura e avicultura).

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 SUBSTRATOS

Amostras de efluentes/resíduos de atividades agropecuárias foram coletadas em propriedades rurais na região oeste do estado do Paraná.

**Tabela 1 - Descrição das propriedades onde foram coletadas amostras de efluentes e resíduos**

#	Tipo de criação	Tipo de produção	Número de animais	Manejo dos dejetos	Cidade
1	Suínocultura terminação	Terminação	5.500	Lâmina de água	São Miguel do Iguaçu - PR
2	Suínocultura crechário	Crechário	3.000	Lâmina de água	Marechal Candido Rondon - PR
3	Bovino de corte 1	Confinado – Alto grão	200	Raspagem	São Miguel do Iguaçu - PR
4	Bovino de corte 2	Confinado - Silagem	700	Raspagem	Santa Helena - PR
5	Dejeto aves poedeiras	-	84.000	Esteiras	Santa Helena - PR

**Fonte: Autoria própria**

Todas as propriedades possuíam algum sistema de equalização antes da entrada do sistema de biodigestão, composto por uma caixa de dimensões suficientes para acumular o efluente por um tempo mínimo que garante a homogeneização do material. O procedimento de coleta consiste em encher um frasco de 1,5 litros com o efluente, sendo que para preencher este volume, são coletadas frações em diferentes pontos da caixa e com intervalo de tempo entre cada uma. Isso garante que o material coletado tenha uma maior representatividade do efluente produzido na unidade. Para minimizar os efeitos de envelhecimento das amostras, estas foram transportadas em caixas térmicas mantidas a baixa temperatura (<10°C). No momento de chegada ao laboratório foi conferido a temperatura das amostras para garantir que as mesmas não foram transportadas em temperaturas acima da permitida.

Cada amostra foi ensaiada para determinação dos seguintes parâmetros: Sólidos totais (ST), Sólidos voláteis (SV), Sólidos fixos (SF), pH, Demanda Química de Oxigênio (DQO).

## 2.2 POTENCIAL BIOQUÍMICO DE METANO (PBM)

O PBM de cada amostra foi determinado utilizando ensaio de batelada baseado no procedimento publicado pela norma alemã (VDI 4630, 2006). Cada substrato foi ensaiado em três faixas diferentes de temperatura: média anual da região (25°C), mesofílica (37°C) e termofílica (55°C).

Os testes foram realizados no laboratório LABiogás, instalado nas dependências do Parque Tecnológico Itaipu (PTI). Para cada faixa de temperatura e cada efluente foram encubados 3 reatores com substrato mais inóculo e 3 reatores contendo apenas inóculo utilizados para controle. Para minimizar o envelhecimento das amostras ensaiadas no segundo período, as mesmas foram armazenadas em temperaturas abaixo de 0°C (Edwiges, et al., 2018).

Para validar a eficiência do inóculo, foram encubadas amostras de controle com celulose microcristalina com inóculo em cada faixa de temperatura (25, 37 e 55°C). O volume de biogás produzido atingiu o valor mínimo recomendado pela VDI 4630 (740 – 750 mL.N.gSV-1, equivalente a 80% da produção teórica de biogás), validando a eficiência do inóculo.

Os testes de batelada foram realizados com 1 g SV de substrato e 200 mL de inóculo. Para os ensaios nas faixas de temperatura de 25°C e 55°C os inóculos utilizados passaram por um processo de aclimação por um período de 30 dias. Todas as massas foram pesadas e anotadas. A produção de gás do inóculo foi anotada e subtraída de cada reator com substrato mais inóculo. A concentração de sólidos foi mantida abaixo da recomendada pela VDI 4630, 10% para ST, SV entre 1,5% e 2,0%, e razão inóculo substrato maior que 2, para prevenir inibição durante o processo. Nitrogênio gasoso foi utilizado para purgar o ar contido nos reatores e eudiômetros. Durante todo o teste os reatores foram mantidos a temperatura constante, conforme cada faixa utilizada. Para tal, os

reatores foram submersos em uma cuba com água, que possuíam aquecedores e sensores de temperatura que controlavam o acionamento dos aquecedores. Os reatores foram agitados manualmente todos os dias.

### 2.3 CONCENTRAÇÃO DE METANO

O volume de biogás medido foi corrigido para condições normais de pressão e temperatura, conforme equação 1, e a produção de biogás anotada em litros normais por quilograma de sólidos voláteis (LN.kgSV<sup>-1</sup>).

$$V_0 = V \times \frac{(P_L - P_W) \times T_0}{P_0 \times T}, \quad (1)$$

Onde:

- $V_0$  é o volume de biogás em condições normais (mL);
- $V$  é o volume de biogás medido no eudiômetro (mL);
- $P_L$  é a pressão atmosférica no momento da medição (mbar);
- $P_W$  é a pressão de vapor da água (mbar)
- $T_0$  é a temperatura em condições normais (273 K)
- $P_0$  é a pressão em condições normais (1.013 mbar);
- $T$  é a temperatura (K).

A concentração de metano foi medida utilizando analisador de gás Dräger X-am® 7000, com sensor *DrägerSensor Smart CatEx HC* calibrados para biogás. O volume de metano é resultante da multiplicação do volume de biogás, calculado com a equação 1, e da concentração de metano medida.

### 2.4 ANÁLISE DOS DADOS EXPERIMENTAIS

Os dados de volume de biogás e de metano foram medidos diariamente e tabelados. Para cada substrato foi analisado o potencial máximo de produção de biogás, assim como a curva de produção acumulada de biogás. Os resultados foram agrupados por amostra, a fim de comparar o impacto na variação de temperatura dos reatores na produção de biogás.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 TEOR DE SÓLIDOS TOTAIS E VOLÁTEIS

Os resultados dos ensaios de sólidos totais e sólidos voláteis estão apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2 - Teor de sólidos totais e sólidos voláteis das amostras**

#	Tipo de efluente/resíduo	Teor de sólidos totais (%)	Teor de sólidos voláteis – Base seca (%)
1	Suinocultura terminação	2,44	76,2
2	Suinocultura crechário	2,06	68,4
3	Bovino de corte 1	25,60	89,0
4	Bovino de corte 2	12,32	58,9
5	Dejeto aves poedeiras	28,84	62,8

**Fonte: Autoria própria**

As amostras 1 e 2, referentes a efluentes de suinocultura, tiveram um teor de sólidos na faixa entre 2% a 2,5% e sólidos voláteis entre 68,4% e 76,2%, valores estes normais para este tipo de efluente, pois as dejeções de suínos já possuem baixo teor de sólidos e são manejados com sistema que utilizam água, como por exemplo o de lamina d'água (Mito, 2018).

Já os efluentes de bovinocultura apresentaram teores muito diferentes de sólidos totais (25,60% e 12,32%) e de sólidos voláteis (89,0% e 58,9%). Isto porque o tipo de sistema de manejo dos dejetos da propriedade onde foi coletada a amostra 3 não utiliza água na limpeza, apenas a raspagem do piso. Já na propriedade onde foi coletada a amostra 4, o manejo dos dejetos se faz por aspersão de água, em um piso com leve inclinação que faz a dejeção deslizar até uma canaleta de coleta. A amostra 5, referente a dejeto de aves poedeiras apresentou alto teor de ST e SV, que é normal para este tipo resíduo, que é coletado por esteiras transportadoras.

### 3.2 POTENCIAL BIOQUÍMICO DE METANO

Os resultados dos ensaios de PBM e o teor de metano medido nos gases produzidos durante os ensaios de cada amostra estão apresentados na Tabela 3.

**Tabela 3 - Potencial bioquímico de metano (PBM) das amostras para diferentes condições de incubação (25, 37 e 55°C)**

<b>Tipo de resíduo/ efluente</b>	<b>Temperatura de incubação</b>	<b>PBM (LN<sub>biogás</sub> .kg<sub>sv</sub><sup>-1</sup>)</b>	<b>Teor de Metano</b>	<b>PBM médio</b>	<b>Desvio padrão</b>	<b>Coefficiente de Variação</b>
Suinocultura - Terminação	25°C	551	72%	547	31,66	6%
	37 °C	577	71%			
	55°C	514	63%			
Suinocultura - Crechário	25°C	862	70%	744	103,29	14%
	37 °C	700	70%			
	55°C	670	69%			
Bovinocultura de corte 1	25°C	724	59%	626	91,35	15%
	37 °C	543	61%			
	55°C	612	54%			
Bovinocultura de corte 2	25°C	407	62%	372	34,08	9%
	37 °C	339	66%			
	55°C	369	66%			
Dejeto de aves poedeiras	25°C	660	62%	613	40,61	7%
	37 °C	594	67%			
	55°C	586	61%			

**Fonte: Autoria Própria**

A amostra 1, efluente de suinocultura terminação, apresentou o maior potencial para temperatura de 37°C, seguido pela incubação de 25°C e por último a de 55°C. Porém, o coeficiente de variação entre elas foi de 6% (<10%), ou seja, a variação da temperatura de incubação não apresenta efeito representativo no PBM para esta amostra.

A amostra 2, efluente de suinocultura crechário, apresentou o maior potencial a temperatura de 25°C, seguindo pela incubação de 37°C e por último a de 55°C. O coeficiente de variação entre eles foi de 14% (>10%), indicando que a variação na temperatura de incubação influencia no PBM para este tipo de efluente.

A amostra 3, dejetos de bovinocultura de corte, apresentou maior potencial para a temperatura de 25°C, seguido pela incubação de 55°C e por último a de 37°C. O coeficiente de variação entre eles foi de 15% (>10%), indicando que a variação na temperatura de incubação influencia no PBM para este tipo de dejetos.

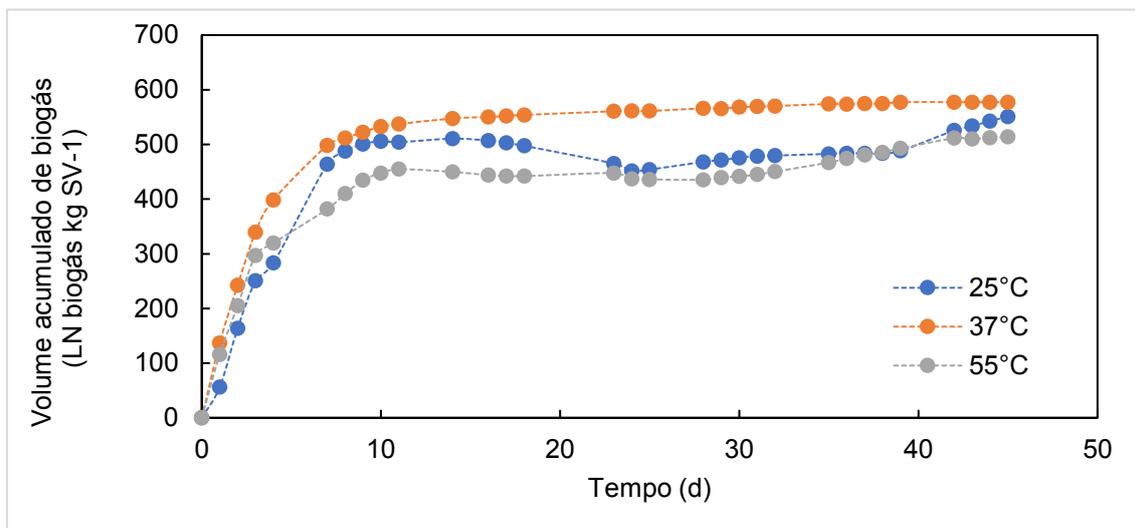
A amostra 4, dejetos de bovinocultura de corte, assim como a amostra 3, apresentou maior potencial para a temperatura de 25°C, seguido pela incubação de 55°C e por último a de 37°C. Porém, diferente da amostra 3, esta apresentou coeficiente de variação entre eles foi de 9% (<10%), indicando que a variação na temperatura de incubação não influencia no PBM para este tipo de dejetos.

A amostra 5, dejetos de avicultura poedeiras, apresentou maior potencial para a temperatura de 25°C, seguido pela incubação a temperatura de 37°C e por último a de 55°C. O coeficiente de variação entre eles foi de 7% (<10%), indicando que a variação na temperatura de incubação não influencia no PBM para este tipo de dejetos.

### 3.3 SUINOCULTURA

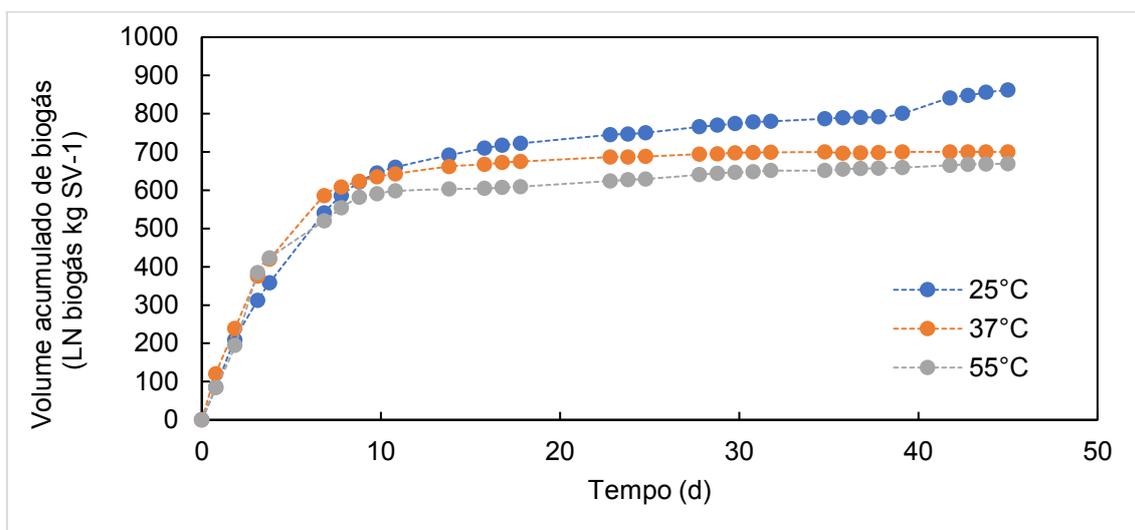
Para cada ensaio, os valores acumulados de produção de biogás foram medidos com periodicidade diária para elaboração dos gráficos de volume acumulado de biogás. As Figura 1 e Figura 2 apresentam os gráficos obtidos

para as amostras de 1, suinocultura terminação e 2, suinocultura crechário, respectivamente.



**Figura 1 - Curvas de produção de biogás para amostras de efluentes de suinocultura terminação, nas temperaturas de 25, 37 e 55°C**

Fone: Autoria própria



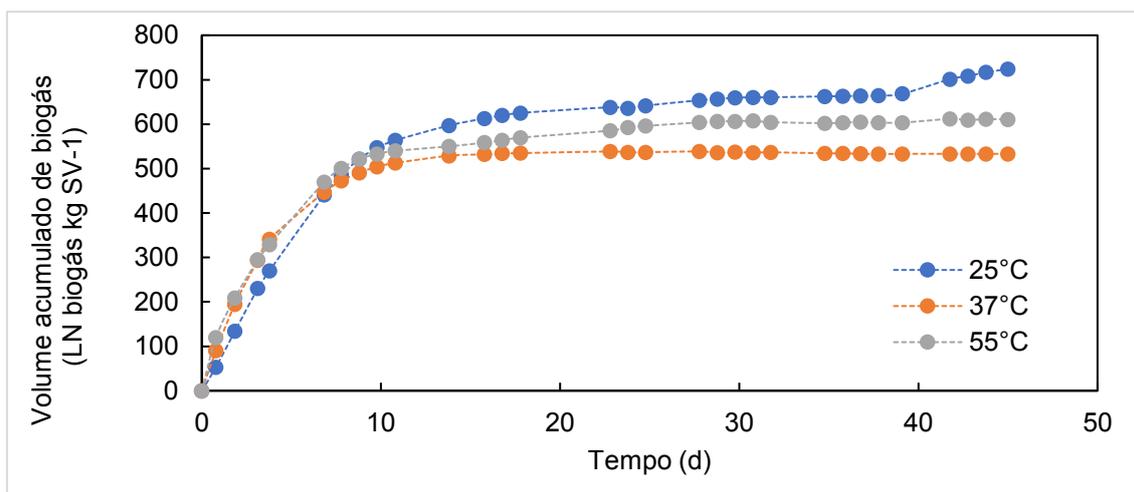
**Figura 2 - Curvas de produção de biogás para amostras de efluentes de suinocultura crechário, nas temperaturas de 25, 37 e 55°C**

Fonte: Autoria própria

Para os resultados das 2 amostras de suinocultura, pode-se observar que a inclinação da curva é bem acentuada nos 7 primeiros dias. Ao comparar o potencial máximo entre as duas amostras é observado que o PBM do efluente de crechário (744 LN biogás kg SV<sup>-1</sup>) é 36% maior que o de terminação (547 LN biogás kg SV<sup>-1</sup>).

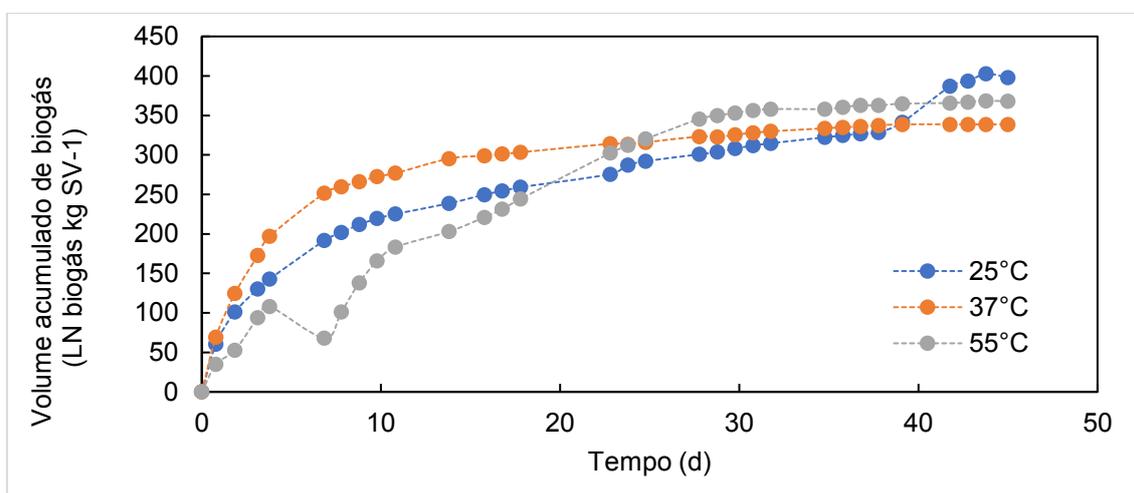
### 3.4 BOVINOCULTURA

As Figura 3 e Figura 4 apresentam os gráficos obtidos para as amostras de 3, bovinocultura de corte com alimentação alto grão e 4, bovinocultura de corte com alimentação convencional (silagem), respectivamente.



**Figura 3 - Curvas de produção de biogás para amostras de efluentes de bovinocultura de corte com alimentação alto grão, nas temperaturas de 25, 37 e 55°C**

Fone: Autoria própria



**Figura 4 - Curvas de produção de biogás para amostras de efluentes de bovinocultura de corte com alimentação convencional (silagem), nas temperaturas de 25, 37 e 55°C**

Fone: Autoria própria

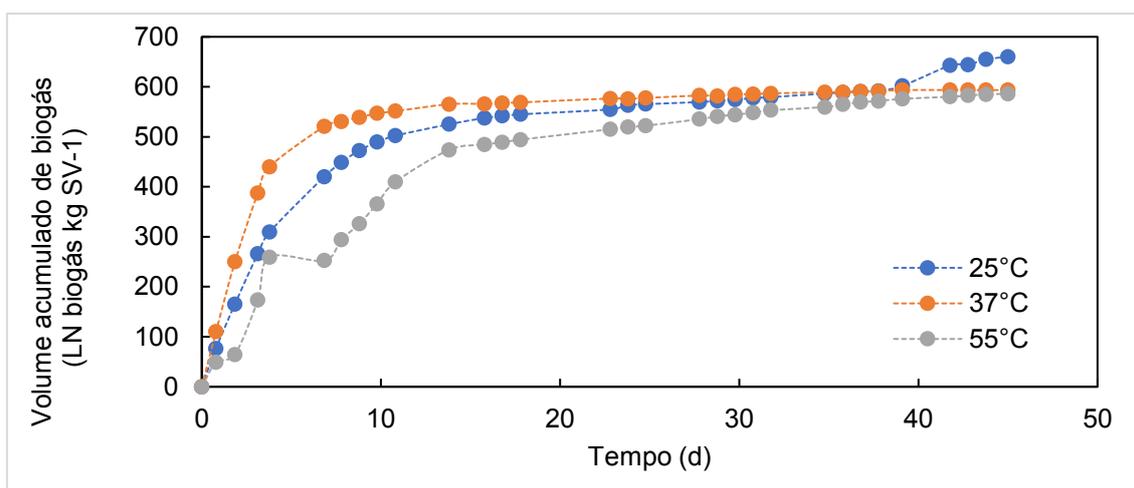
Na figura 4, é possível observar uma queda brusca no volume de biogás acumulado no dia 7 para a temperatura de incubação de 55°C. Isso se deve ao fato de, durante a execução do ensaio, um dos equipamentos

responsáveis pelo aquecimento nas cubas de incubação ter falhado e desligado, ocasionando a queda na temperatura da amostra e, conseqüentemente, impacto na leitura do volume de gás produzido.

Quando comparamos o potencial máximo para cada amostra, observamos que os dejetos provenientes da bovinocultura de corte com alimentação alto grão (amostra 3) apresentaram um PBM 62% maior, quando comparado ao de alimentação convencional (silagem – amostra 4). Isso pode ser explicado pela composição da amostra do segundo apresentar uma quantidade maior de material lignocelulósico de difícil degradação na digestão anaeróbia.

### 3.5 AVICULTURA

A Figura 5 apresenta o gráfico obtido para a amostras de 5, dejetos de avicultura poedeira. Assim como na amostra 4, nesta também é possível observar uma queda brusca no volume de biogás acumulado no dia 7 para a temperatura de incubação de 55°C, que se deve pelo mesmo motivo de falhas durante o ensaio da amostra 4.



**Figura 5 - Curvas de produção de biogás para amostras de efluentes de avicultura de ovos, nas temperaturas de 25, 37 e 55°C**

**Fone: Autoria própria**

## 4 CONCLUSÕES

A partir dos resultados das 5 amostras, pode-se concluir que não existe padrão de resultado do PBM para diferentes faixas de temperatura com diferentes tipos de substratos. Nas amostras 1, 4 e 5, os resultados de PBM para as diferentes faixas de temperatura ficaram muito próximos, com coeficientes de variação muito baixos, 6%, 9% e 7%, respectivamente, indicando que a variação da temperatura não gera impactos no resultado de PBM. Já para as amostras 2 e 3, os coeficientes de variação foram de 14 e 15%, respectivamente, indicando que existe um impacto da variação de temperatura nos resultados de PBM. Porém a ordem das temperaturas da maior produção para a menor não seguiu um padrão, sendo 25°C, 37°C e 55°C para a amostra 2 e 25°C, 55°C e 37°C para a amostra 3.

Neste trabalho constatou-se que a produção de biogás em ensaios PBM para efluentes de suinocultura e resíduos de bovinocultura e avicultura foi superior para a temperatura de 25°C, quando comparado à produção na temperatura de 37°C, em 80% das amostras, resultado este que contradiz as bibliografias citadas. Para validar estes resultados é necessário o aprofundamento nos estudos, repetindo os ensaios para amostras de diferentes origens.

## REFERÊNCIAS

Edwiges, T., Frare, L., Mayer, B., Lins, L., Triolo, J. M., Flotats, X., & Costa, M. S. (2018). **Influence of chemical composition on biochemical methane potential of fruit and vegetable waste.** *Waste Management*.

I. Angelidaki, M. A. (2009). **Defining the biomethane potential (BMP) of solid organic wastes and energy crops: a proposed protocol for batch assays.** *Water Science & Technology—WST*, 8.

Mito, J. Y. (2018). **Metodologia para estimar o potencial de biogás e biometano a partir de plantéis suínos e bovinos no Brasil.** Concórdia/SC: Embrapa Suínos e Aves.

Nitsche, P. R., Caramori, P. H., Rice, W. d., & Pinto, L. F. (2019). **Atlas climático do estado do Paraná.** Londrina[PR]: IAPAR - Instituto Agronômico do Paraná.

Scarlat, N., Dallemand, J.-F., & Fahl, F. (28 de Março de 2018). **Biogas: Developments and perspectives in Europe.** *Renewable Energy*, p. 450.

VDI 4630. (2006). **Fermentation of organic materials: characterization of the substrate, sampling, collection of material data, fermentation tests.** In: Verein Deutscher Ingenieure, Berlin, Germany.