



Biogás
BRASIL

Influência da temperatura na viabilidade de um biodigestor alimentado com cama de frango

Nota técnica



CIBIOGAS
ENERGIAS RENOVÁVEIS



ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS
PARA O DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL



GLOBAL ENVIRONMENT FACILITY
INVESTING IN OUR PLANET

MINISTÉRIO DO
DESENVOLVIMENTO REGIONAL

MINISTÉRIO DO
MEIO AMBIENTE

MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA

MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO

MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA
E INOVAÇÕES



Parceiros do Projeto



Parceiros nesta Atividade



Comitê Diretor do Projeto



ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS
PARA O DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL



GLOBAL ENVIRONMENT FACILITY
INVESTING IN OUR PLANET

MINISTÉRIO DO
DESENVOLVIMENTO REGIONAL

MINISTÉRIO DO
MEIO AMBIENTE

MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA

MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO

MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA
E INOVAÇÕES



www.gefbiogas.org.br

This project/program is funded by the Global Environment Facility

Projeto “Aplicações do Biogás na Agroindústria Brasileira” (GEF Biogás Brasil)



Este documento está sob a licença Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License. Citações ao material deste documento devem ser da seguinte forma:

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL; UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ; CENTRO INTERNACIONAL DE ENERGIAS RENOVÁVEIS. **Influência da temperatura na viabilidade de um biodigestor alimentado com cama de frango**: nota técnica. Brasília: MCTI, 2021. *E-book*. (Projeto Aplicações do Biogás na Agroindústria Brasileira: GEF Biogás Brasil).

COMITÊ DIRETOR DO PROJETO

Fundo Global para o Meio Ambiente

Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações

Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

Ministério de Minas e Energia

Ministério do Meio Ambiente

Ministério do Desenvolvimento Regional

Centro Internacional de Energias Renováveis

Itaipu Binacional

PARCEIROS DO PROJETO

Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas

Associação Brasileira do Biogás

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

FICHA TÉCNICA

Nome do produto:

Influência da temperatura na viabilidade de um biodigestor alimentado com cama de frango

Componente Output e Outcome:

1.2 / 1.2.1

Publicado pela(s) entidade(s):

Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial
Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações

Entidade(s) diretamente envolvida(s):

Centro Internacional de Energias Renováveis
Biogás – CIBiogás
Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR

Autoria e coautoria:

Daiana Gotardo Martinez – CIBiogás/UNIDO
Juliana Gaio Somer - CIBiogás
Marcia Hino - CIBiogás
Nicolas Lazzaretti Berhorst – CIBiogás/UNIDO
Thiago Edwiges – UTFPR

Revisão técnica:

Ricardo Muller – CIBiogás/UNIDO

Coordenação:

Felipe Souza Marques

Editoração:

Nicole Mattiello

Data da publicação: outubro/2020

O68i Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial.

Influência da temperatura na viabilidade de um biodigestor alimentado com cama de frango: nota técnica / Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial; Universidade Tecnológica Federal do Paraná; Comitê diretor do projeto Centro Internacional de Energias Renováveis. – Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações, 2021.

26 p.: il. – (GEF Biogás Brasil)

ISBN: 978-65-87432-23-6

1. Biogás. 2. Biomassa. 3. Biocombustíveis. 4. Energia – Fontes alternativas. I. Martinez, Daiana Gotardo. II. Somer, Juliana Gaio. III. Hino, Marcia. IV. Berhorst, Nicolas Lazzaretti. V. Edwiges, Thiago. VI. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. VII. UNIDO. VIII. Centro Internacional de Energias Renováveis. IX. CIBiogás. X. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. XI. Projeto Aplicações do Biogás na Agroindústria Brasileira. XII. Título. XIII. Série.

CDU 662.767.2



APRESENTAÇÃO

O Projeto “Aplicações do Biogás na Agroindústria Brasileira” (GEF Biogás Brasil) reúne o esforço coletivo de organismos internacionais, setor privado, entidades setoriais e do Governo Federal em prol da diversificação da matriz energética do país por meio do biogás.

O Projeto é liderado pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI), implementado pela Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial (UNIDO), financiado pelo Fundo Global para o Meio Ambiente (GEF), e conta com o Centro Internacional de Energias Renováveis (CIBiogás) como principal entidade executora.

O objetivo do Projeto é reduzir a emissão de gases de efeito estufa, fortalecendo as cadeias de valor e inovação tecnológica ligadas à produção de biogás. Por meio de ações concretas, o Projeto amplia a oferta de energia e combustível no Brasil a partir da geração de biogás e biometano, fortalecendo as cadeias nacionais de fornecimento de tecnologia no setor e facilitando investimentos.

O biogás é uma fonte renovável de energia elétrica, energia térmica e combustível. Seu processamento também resulta em biofertilizantes de alta qualidade para uso agrícola. A gestão sustentável dos resíduos orgânicos provenientes da agroindústria e de ambientes urbanos por meio da produção de biogás traz um diferencial competitivo para a economia brasileira. Desenvolver a cadeia de

valor do biogás significa investir em uma economia circular envolvendo inovação e novas oportunidades de negócios. Indústrias de equipamentos e serviços, concessionárias de energia e gás, produtores rurais e administrações municipais estão entre os beneficiários do Projeto, que conta com US \$7,828,000 em investimentos diretos.

Com abordagem inicial na Região Sul e no Distrito Federal, o Projeto gera impactos positivos para todo o país. As atividades do Projeto incluem a atuação direta junto a empresas, cooperativas e entidades da governança do biogás para implementar acordos de cooperação, fazer análises de mercado, desenvolver modelos de negócio inovadores e atrair investimentos nacionais e internacionais.

O Projeto também investe diretamente na otimização de plantas de biogás mais eficientes, seguras e com modelos replicáveis, entregando ao mercado exemplos práticos de sucesso operacional. Além disso, o Projeto desenvolve ferramentas digitais e atividades de capacitação que atualizam e dinamizam o setor, facilitando o desenvolvimento de projetos executivos de biogás. Em paralelo, especialistas do Projeto desenvolvem estudos técnicos com dados inéditos que apoiam o avanço de políticas públicas favoráveis ao biogás. Dessa forma, o Projeto entrega para o mercado brasileiro mais competitividade, fomentando o biogás como um grande catalizador de novas oportunidades.



Influência da temperatura na viabilidade de um biodigestor alimentado com cama de frango

Nota técnica

Data da Publicação:

Outubro/2020

Sumário

1. Introdução.....	8
2. Resíduos da avicultura de corte	10
2.1 Case Paraná.....	11
3. Produção de biogás em diferentes temperaturas	13
3.1 Resultados da avaliação da cama de frango em diferentes temperaturas	14
4. Grandes indústrias, grandes desafios.....	18
5. Modelagem econômica	20
6. Considerações finais.....	22
Agradecimentos	23
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	24

Resumo/Abstract

PORTUGUÊS

A produção de carne de frango gera uma grande quantidade de resíduos orgânicos, denominada cama de frango. As características deste substrato, tornam seu uso atrativo sob o ponto de vista do aproveitamento na digestão anaeróbia. Neste processo a temperatura merece destaque entre os fatores que influenciam a produção de biogás, visto que seu controle permite maior estabilidade e eficiência de degradação da matéria orgânica durante o tratamento. Ao se avaliar a biodigestão da cama de frango em temperatura termofílica (55oC), o incremento na produção de biogás foi de 107%, quando comparada à temperatura ambiente. Como a cama de frango possui um valor de mercado atrativo de R\$ 60ton, deve-se destacar que para se utilizar este substrato na biodigestão a receita deve superar o valor de venda como condicionador de solo. Dentre as três temperaturas avaliadas, a faixa termofílica foi a única que excedeu o valor de mercado da cama de frango in natura, vendida para adubação e trato do solo e comercializada, tornando-se um parâmetro importante para a tomada de decisão em função do uso ou não deste substrato para produção de biogás.

Palavras-chave: cama de frango, biogás, temperatura, parâmetros operacionais.

ENGLISH

Chicken meat production generates a large amount of organic waste, called chicken bed. The characteristics of this substrate, make its use attractive from the point of view of anaerobic digestion. In this process the temperature deserves to be highlighted among the factors that influence the production of biogas, since its control allows greater stability and efficiency of degradation of organic matter during treatment. When evaluating the biodigestion of the chicken bed at thermophilic temperature (55oC), the increase in biogas production was 107% compared to ambient temperature. As the chicken bed has an attractive market value of \$ 60ton, it should be noted that to use this substrate in biodigestion the revenue must exceed the sale value as soil conditioner. Among the three temperatures evaluated, the thermophilic range was the only one that exceeded the market value of chicken bed in natura, sold for fertilization and soil treatment and marketed, becoming an important parameter for decision making depending on whether or not to use this substrate for biogas production.

Keywords: chicken bed, biogas, temperature, operational parameters.

Impactos

A cama de frango é um substrato gerado em larga escala e que pode ser utilizado como matéria-prima para produção de biogás. A adoção deste substrato para o tratamento em biodigestores é baixa no Brasil. A falta de informação disponível sobre seu uso é considerada um fator impactante.

Diante disso, a motivação para elaboração desta Nota Técnica foi **analisar os desafios e oportunidades que possam impactar na viabilização técnica e financeira do aproveitamento da cama de frango em sistemas de biodigestão** e, conseqüentemente, o incremento competitivo que o biogás pode oferecer ao setor. Este documento abordará o impacto monetário e o potencial de produção de biogás a partir da operação de biodigestores em diferentes temperaturas, proporcionando suporte ao desenvolvimento de projetos.

1. Introdução

O setor avícola é dividido entre a produção de proteína animal (aves de corte) e produção de ovos (aves poedeiras), cada qual, geram resíduos com características e volumes distintos. Caracteriza-se como um setor de relevância no contexto do agronegócio brasileiro e, também, no cenário mundial. A carne de frango, em 2017, ultrapassou a suína no ranking de proteína animal mais consumida no mundo (OECD-FAO, 2018).

O Brasil é o maior exportador de proteína de aves do mundo. Em 2019 exportou cerca de 4 milhões de toneladas e arrecadou o montante de USD 6,4 bilhões. Os Estados Unidos da América estão em 2º no *ranking* de exportadores deste produto com 40% menos volume que o Brasil (TRADEMAP 2020).

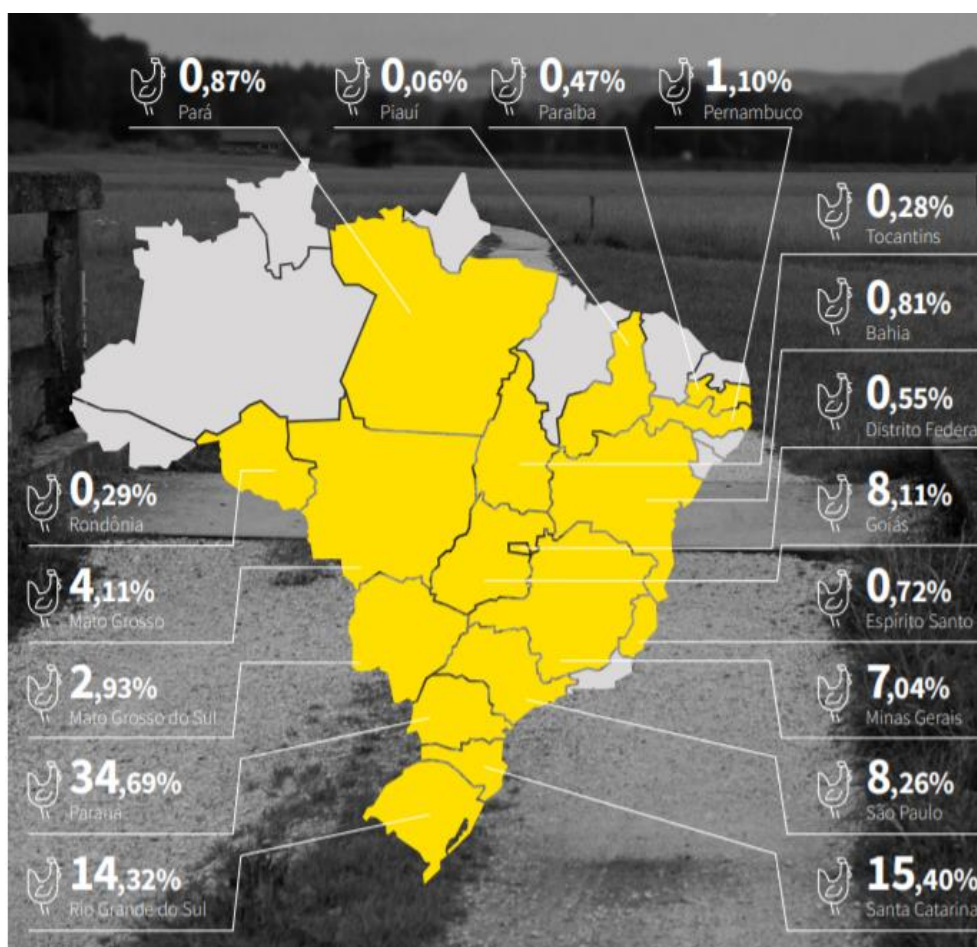


Figura 1. Volume de Abate em 2019
Fonte: MAPA, 2020.

O ano de 2019 foi marcado por recordes na produção de carne de frango: recorde em número de matrizes, que registrou 52 milhões de cabeças, e recorde

de produção, com 13 milhões de toneladas produzidas, sendo 32% desse volume dedicado à exportação.

A região sul do Brasil, sozinha, é responsável por **64%** da produção brasileira. O estado do Paraná (PR) desponta com 35% do total nacional, seguido pelos estados de Santa Catarina (SC) e Rio Grande do Sul (RS), ambos com aproximadamente 15% de representatividade.

Por meio do cooperativismo, a indústria de proteína animal garante milhões de empregos e possibilita que pequenos agricultores mantenham níveis de bem-estar e qualidade de vida. Cidades como Lajeado-RS, Toledo-PR e Concórdia-SC são polos de produção de proteína animal e estão entre os *Top 10* municípios com melhor índice de desenvolvimento humano no Brasil (ABPA, 2020).

O processo de produção carne de frango (aves de corte) se caracteriza por um sistema de criação intensivo em confinamento em lotes de aproximadamente 42 dias, período de engorda dos animais na granja até atingirem o peso para serem abatidos. Durante este período as aves ficam livres para andar no espaço em que vivem. A granja é um ambiente com condições ambientais controladas, que se caracteriza por utilizar uma forração do piso com maravalha, casca de arroz ou outro material inerte dessa natureza, chamado cama de frango, que tem como principais funções: promover o bem estar animal, o controle térmico e absorver as fezes e urina dos animais.

Este documento abordará as oportunidade e desafios no que tange o aproveitamento energético da cama de avicultura por meio da produção de biogás, haja visto o potencial energético dessa fonte de biomassa residual, a representatividade do setor, a complexidade e a carência de informações relacionadas ao aproveitamento de cama de aves em biodigestores a partir da operação em diferentes temperaturas.

2. Resíduos da avicultura de corte

A produção de carne de frango gera uma grande quantidade de resíduos orgânicos, denominada cama de frango. Anualmente, estima-se que são gerados aproximadamente 6,8 milhões de m³ de cama no país (EMBRAPA, 2011). Cada ave produz aproximadamente 100 gramas de resíduos por dia (INDAP, 2018).



Este material possui características similares a um sedimento marrom escuro (terra) e propaga forte odor. A cama de frango não é removida a cada novo lote de animais. No entanto, a cada troca de lote, a cama deve ser higienizada antes de receber um novo lote de pintinhos. Isso é feito com aplicação de cal em período sanitário de 10 dias, que pode variar de acordo com a integradora.

Não existe uma instrução normativa que especifique a quantidade de lotes que uma cama pode suportar, mas em média são utilizadas por 2 anos. Quando o produtor faz a troca, a depender do porte da granja, um volume expressivo de resíduos é gerado, que normalmente é comercializado produtores rurais para adubação e trato do solo (CIBIOGÁS, GREEID, 2019).

A cama de frango apresenta elevado teor de sólidos totais (ST 80%) e baixa umidade (20%), que é típica deste sistema de criação, pelo fato de utilizar materiais, como a maravalha, para a absorção das excretas animais, garantindo assim, salubridade do ambiente durante o período de produção. Todavia, a **presença de lignocelulose** proveniente da biomassa vegetal, utilizada como base para a cama, além de contribuir para a baixa umidade dos resíduos, confere uma característica de baixa degradabilidade à mistura de cama e dejetos, que pode ser prejudicial sob o ponto de vista da biodigestão.

O uso de reatores anaeróbios para o tratamento de dejetos animais é uma alternativa tecnológica atrativa frente ao potencial de produção de biogás deste

resíduo, pois promove a conversão da matéria orgânica em energia. Segundo dados do Biogasmapp¹, apenas duas plantas operam no Brasil, utilizando cama de frango, uma situada no estado do Paraná e outra no Tocantins. Juntas geram aproximadamente 1600 Nm³/dia de biogás e realizam seu aproveitamento para geração de energia elétrica.

2.1 Case Paraná

A granja situada no estado do Paraná, utiliza a cama de frango como matéria prima e eventualmente recebe de outras propriedades dejetos de suínos e soro de leite de um laticínio próximo. Diariamente são utilizadas 1,5 tonelada de cama de frango, a qual é homogeneizada com água, e/ou soro de leite e/ou dejetos de suínos, variando conforme disponibilidade. Após a mistura, é realizada a separação de sólidos. Nesta etapa, a fração sólida (maravalha + fração da matéria orgânica) é direcionada para compostagem e a fração líquida para o biodigestor.

A unidade conta com biodigestor modelo lagoa coberta circular com mistura completa de 1560 m³, o tempo de retenção hidráulica varia em média 26 dias, garantindo uma produção de aproximadamente 1400 Nm³/dia de biogás, com concentração média de 67% de metano. O biogás produzido é utilizado para geração de energia elétrica, por meio de um grupo moto gerador MWM de 120 kVA, gerando 75 kW. A unidade geradora opera 18 horas por dia (Embralm, 2020).

¹ [Biogasmapp](#) - Ferramenta com o levantamento de plantas nacionais.

Influência da temperatura na viabilidade de biodigestor alimentado com cama de aves



Este projeto é um case pioneiro utilizando cama de frango no Brasil, porém, vale destacar que conforme mencionado anteriormente é necessário realizar a separação sólido-líquida do substrato, para a remoção da maravalha presente na cama, com isto, não é feito o tratamento integral da cama de frango, apenas do dejetos nela disposto. Sob o aspecto técnico, será abordado nas próximas sessões como a variação de temperatura em sistemas de biodigestão pode impactar positivamente na viabilidade financeira de unidades de produção e aproveitamento do biogás.

3. Produção de biogás em diferentes temperaturas

A temperatura merece destaque entre os fatores que influenciam o processo de digestão anaeróbia para a produção de biogás, visto que seu controle permite maior estabilidade e eficiência de degradação da matéria orgânica durante o tratamento. A digestão anaeróbia pode ocorrer em diferentes faixas de temperatura (Tabela 2): psicrófila (15-18°C), mesófila (25–35) °C, termófila (>45°C).

Classe termal	Mínimo (°C)	Ótimo (°C)	Máximo (°C)
Psicrófilos	4-10	15-18	20-25
Mesófilos	15-20	25-35	35-45
Termófilos	25-45	50-60	75-80

Tabela 1. Classificação da digestão anaeróbia por faixa de temperatura
Fonte: Adaptado de Speece (1996).

Os reatores anaeróbios no Brasil operam em sua grande maioria nas faixas de temperatura mesófila (25-35°C), que se adapta à grande parte dos dejetos animais e demanda menos energia para o processo. Condições termofílicas (>45°C) podem aumentar o desempenho dos reatores em determinados casos, com aumento da solubilidade dos compostos orgânicos e das taxas de reações bioquímicas, além da redução da solubilidade do biogás no meio líquido, da redução da viscosidade do substrato, do aumento da destruição de organismos patogênicos e da redução do odor (ANGELIDAKI, AHRIN, 1994).

Se, por um lado, um biodigestor em condições termofílicas produz mais metano e, conseqüentemente, aumenta a receita marginal de uma planta de biodigestão, por outro lado, há o custo energético para manter uma temperatura elevada e constante, além do fato de as colônias de microrganismos serem mais sensíveis à amplitude térmica. Adicionalmente ao custo energético elevam-se as despesas operacionais com mão de obra qualificada, controles e automação de processos para garantia de temperatura constante em período de 24 horas nos 7 dias na semana.

Dentre as alternativas para aumentar a temperatura do biodigestor, é possível realizar o aproveitamento de calor produzido em motogeradores, cogeração, para auxiliar no aquecimento do biodigestor. É importante destacar que a variação de temperatura nos biodigestores deve ser observada como parâmetro complementar, não descartando a necessidade de pré-tratamentos.

3.1 Resultados da avaliação da cama de frango em diferentes temperaturas

A Tabela 2 apresenta o potencial de produção de biogás e o teor de metano nos testes realizados com a cama de frango em diferentes condições de temperatura.

Tabela 2. Potencial de produção de biogás em diferentes condições de temperatura

Substrato	Sólidos totais	Sólidos voláteis	Potencial de Biogás ($L_N \text{ kg SV}^{-1}$)			Teor de Metano (%)		
	(%)	(% ST)	25°C	37°C	55°C	25°C	37°C	55°C
CAC	80,0	49,5	254 (± 12)	302 (± 19)	526 (± 14)	44	45	48

CAC: cama de aves de corte. *valores em parênteses indicam o desvio padrão da média.

O potencial de produção de biogás, a partir da cama de frango em temperatura mesofílica (37°C), foi 19% superior aos resultados em temperatura ambiente, em termos de rendimento.

Em temperatura termofílica (55°C), o incremento na produção de biogás foi de 107%, quando comparada à temperatura ambiente. O aumento de produção de biogás está inicialmente relacionado à atividade biológica dos microrganismos anaeróbios, que apresentam maior eficiência quando operam em temperaturas ótimas (37°C e 55°C). Além disso, o aumento da temperatura para a condição termofílica pode ter favorecido a degradação da lignocelulose, permitindo explicar os maiores rendimentos de produção ao longo do tempo.

As curvas de produção acumulada de biogás, em função do tempo, permitem avaliar o comportamento das amostras. A figura 3 expressa essa variação entre diferentes temperaturas.

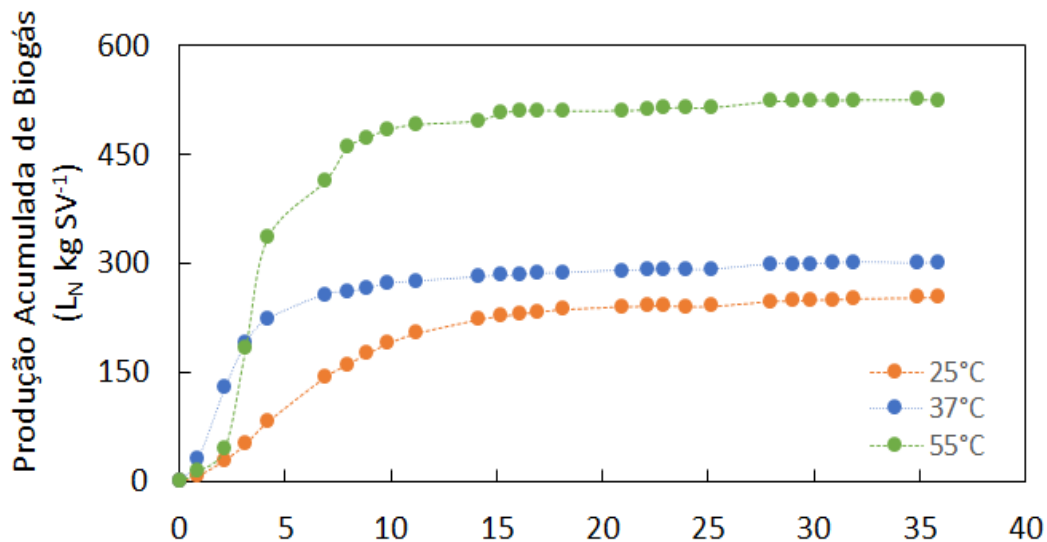


Figura 3: Produção acumulada de biogás a partir de cama de frango em diferentes condições de temperatura

Além do potencial de geração de biogás, ou seja, do volume acumulado ao longo do tempo, é importante avaliar a taxa de produção máxima, pois este indicador pode auxiliar a tomada de decisão referente aos parâmetros operacionais de reatores em escala real, como o tempo de retenção hidráulica (TRH) e, por consequência, o volume adequado do tanque do reator.

A cama de frango apresentou picos de produção, os quais ocorreram em tempos e com volumes diferentes para cada temperatura avaliada. O pico máximo de produção de biogás, em temperatura ambiente (25°C), ocorreu aos 7 dias do início dos testes (Figura 4).

Em condições mesofílicas (37°C) este pico ocorreu após apenas 2 dias (com taxa 60% superior), e em condições termofílicas (55°C) o pico máximo de produção ocorreu após 4 dias, com taxa 144% superior, quando comparados com a taxa obtida em temperatura ambiente.

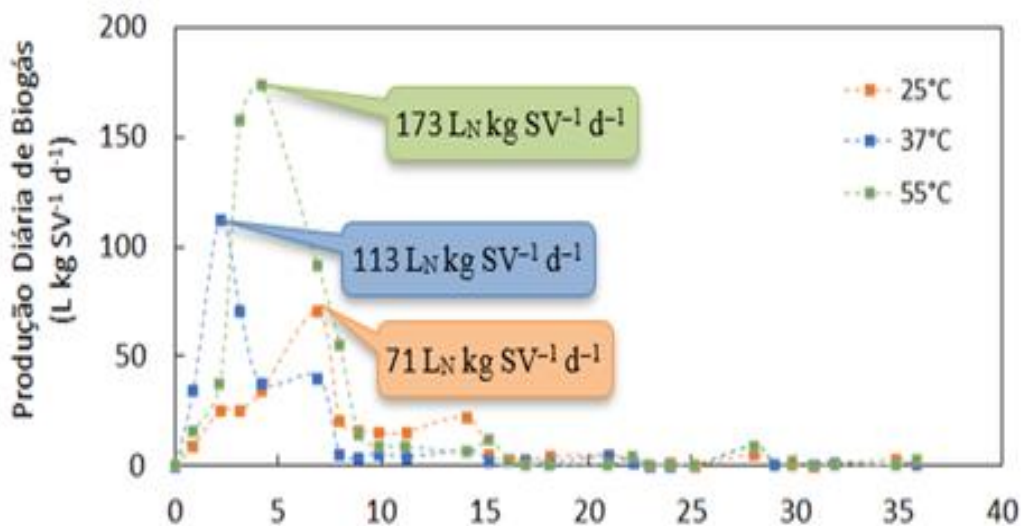
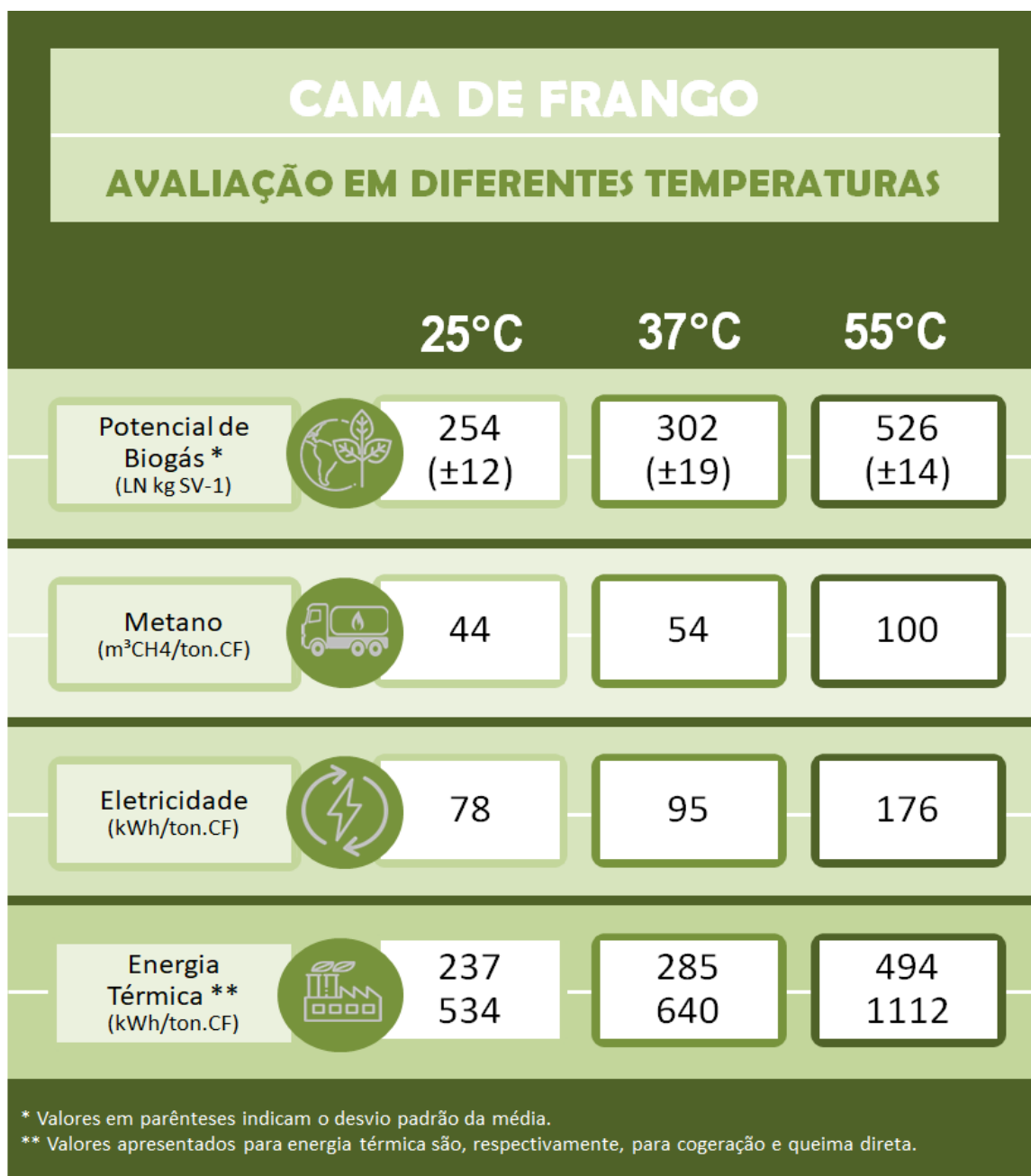


Figura 4: Produção diária de biogás a partir de cama de frango em diferentes condições de temperatura

A taxa de produção máxima varia em função do tipo de biomassa e das condições operacionais do sistema de digestão anaeróbia. Quanto mais biodegradável a composição da matéria orgânica presente na biomassa e mais eficientes as condições operacionais, mais rápida será a digestão anaeróbia, podendo resultar em menores tempos de retenção hidráulica, menores reatores e menor requisito de área para a implantação.

O aumento da temperatura resultou, portanto, em um efeito positivo quanto à velocidade de degradação. Utilizando-se como referência o tempo necessário para atingir ao menos 90% do potencial de produção de biogás (T_{90}), observou-se que em temperatura ambiente, mesofílica e termofílica este indicador foi atingido aos 15, 10 e 9 dias, respectivamente, revelando a importância da temperatura quanto ao dimensionamento de plantas de biogás.



4. Grandes indústrias, grandes desafios

Dentre os aspectos que sustentam a **importância do aproveitamento energético** da cama de frango, está o fato da avicultura ser considerada uma atividade com elevada demanda energética, principalmente por eletricidade para o suprimento de processos e/ou energia térmica para controle térmico das granjas durante a noite ou no inverno ou combustível. Para cada idade do frango há uma zona de conforto térmico, de modo que o suprimento energético constante torna-se fundamental.

A necessidade de investimento em tecnologias de suprimento de carga e atendimento do aumento de demanda é de extrema importância para os produtores de aves, uma vez que suas atividades produtivas estão cada vez mais dependentes da eletricidade. De acordo com a Agribusiness (2017), o maior custo das granjas é vinculado com a energia elétrica, onde se destina cerca de 28% dos gastos totais e destes, 62% devem-se ao uso de exaustores que garantem a climatização do ambiente.

Assim, o consumidor rural, devido às grandes distâncias percorridas pelas linhas de distribuição para o atendimento de sua demanda, representa as cargas com maior predisposição às falhas como sobretensão, sobtensão, ou oscilação de tensão na rede, resultando em baixa qualidade ou falta no fornecimento de energia. Estima-se que a falta de fornecimento de energia por 4 horas para um avicultor de porte médio, pode causar a morte de cerca de 20.000 frangos, alcançando prejuízos superiores a 20 mil reais por paralisação (AVICULTURA INDUSTRIAL, 2017).

A planta de biogás para a geração de energia distribuída instalada nessas localidades críticas melhora o perfil de tensão do sistema de distribuição no ponto de conexão e serve como alternativa para atendimento da demanda do consumidor, promovendo eficiência e segurança energética.

O potencial metanogênico da cama de frango provou ser relevante em testes laboratoriais. No entanto, para viabilizar técnica e financeiramente a produção de biogás a partir deste material é necessário superar alguns obstáculos.

O obstáculo econômico está relacionado ao retorno do investimento. Atualmente, os produtores avícolas já vendem a cama de frango por aproximadamente R\$ 60/ton². Assim, o **retorno financeiro** deve ser suficientemente robusto para cobrir, com uma margem satisfatória, o investimento realizado, sendo comparável à receita atual já garantida com a venda de resíduos frescos para fertilizantes, de maneira que o produtor possa renunciar à venda garantida para focar na produção de biogás.

O obstáculo técnico é dividido em: **necessidade de pré-tratamento do substrato (seu alto valor de investimento) e gerenciamento de resíduos**. O primeiro refere-se basicamente à adoção de tecnologias eficientes para a separação ou tratamento (rompimento das fibras) do expressivo volume de sólidos lignocelulósicos, originários da maravalha, palha de arroz e outros. Já o segundo diz respeito à necessidade de alimentação contínua do biodigestor, em vez que em média, um produtor fica com a mesma cama de frango por 2 anos antes de substituir por uma nova, isso gera a falta de material por alguns períodos para a produção de biogás, sendo necessária a aquisição de substratos externos para alimentação do biodigestor.

O pré-tratamento do substrato é essencial para aumentar o potencial de produção de biogás, evitar problemas hidráulicos e reduzir a sedimentação de sólidos no interior do reator. Contudo, os equipamentos utilizados nesse processo para romper as fibras lignocelulósicas e possibilitar o aumento do fator de degradação da matéria orgânica em um biodigestor podem impactar significativamente sob o aspecto financeiro pelo consumo energético dos mesmos.

² GALHINHOS DE OURO. 2018. "Interview with Andrius (Mura)." Foz do Iguaçu.

5. Modelagem econômica

A modelagem econômica visa quantificar as oportunidades em valores monetários considerando diferentes cenários no contexto brasileiro, com o objetivo de estimar o aumento de receita marginal decorrente do incremento na temperatura do substrato em um biodigestor operado com cama de frango. A Figura 5 demonstra os passos seguidos na modelagem financeira.

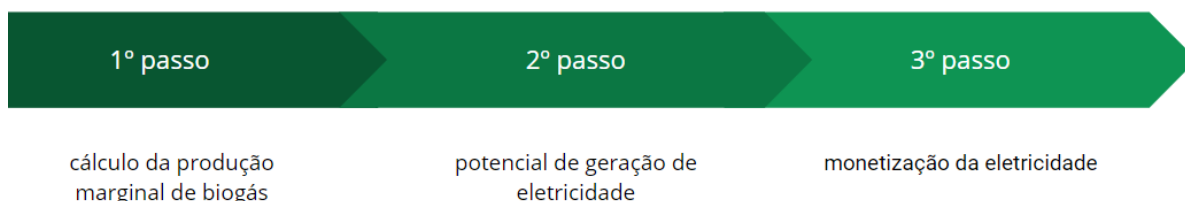


Figura 5. Passos da modelagem financeira

No primeiro passo – cálculo da produção marginal de biogás por tonelada de cama de frango – adotaram-se os dados de potencial de produção de biogás, apresentados na Tabela 2, resultado dos testes com cama de frango em três diferentes condições de temperatura.

No segundo passo – cálculo do potencial de geração de energia elétrica – adotou-se como base um fator de conversão conservador de 1,76 kWh/m³CH₄ calculado de acordo com os seguintes critérios:

- eficiência média de 22% de conversão elétrica de um motogerador de médio porte;
- fator de capacidade de 80%, e;
- poder calorífico (PCI) do metano de 9,97 kWh/m³.

O passo seguinte – conversão do potencial elétrico em unidades monetárias por tonelada de cama de frango – foi calculado a partir da tarifa B1 rural da COPEL³, tendo em vista que a monetização da eletricidade considera o autoconsumo em geração distribuída, regulamentado pela ANEEL a partir das Resoluções Normativas nº 482/2012 e nº 687/2015. Os resultados desta modelagem estão expressos na Tabela 3.

Tabela 3. Modelagem Econômica

³ <https://www.copel.com/hpcweb/copel-distribuicao/taxas-tarifas/>

Temperatura	Produção marginal de metano	Equivalente em eletricidade	Equivalente em moeda local
(°C)	(m ³ CH ₄ /ton.CF)	(kWh/ton.CF)	(R\$/ton.CF)
25°C	44	78	R\$ 48
37°C	54	95	R\$ 59
55°C	100	176	R\$ 109

Os dados apresentados na Tabela 3 evidenciam que a temperatura da biodigestão mantida na faixa termofílica, a **55°C, potencializou a produção marginal de metano** registrando um valor 127% maior do que o atingido na temperatura ambiente de 25°C, e 85% maior que o mensurado na temperatura mesofílica de 37°C.

Analogamente, ao comparar os resultados da última coluna à direita é possível identificar que o valor de R\$ 109 por tonelada de cama de frango também é 85% maior que os R\$ 59 estimados para operação a 37°C, e é mais que o dobro da receita para operação a 25°C. O resultado de R\$ 109/ton.CF traz outra informação interessante: dentre as três temperaturas avaliadas, esse é o único valor que excede o valor de mercado da cama de frango *in natura*, vendida para adubação e trato do solo e comercializada, em média, a R\$ 60 por tonelada.

Desta forma, é possível afirmar que **um reator em temperatura termofílica gera mais receita operacional líquida** do que um reator em temperatura mais baixas. Partindo do princípio que ao destinar esse substrato para uma planta de biogás tem-se a receita decorrente da venda de cama de frango *in natura* perdida, trabalhar na faixa de temperatura termofílica pode ser um fator que viabilize o uso de cama na biodigestão anaeróbia.

É importante destacar que esta análise precisa ser realizada levando em consideração o LCOE⁴ (*levelized cost of electricity*) da planta de biogás, uma vez que a monetização do biogás deve compensar a amortização do investimento, o custo de oportunidade do investimento, um possível financiamento e, ainda, as

⁴ LCOE significa "Custo Nivelado de Energia". É calculado contabilizando todos os custos esperados ao longo da vida de uma usina, incluindo construção, financiamento, combustível, manutenção, impostos, seguros, incentivos e inflação. O valor total é dividido pela potência (kWh) que será produzida durante a vida útil do sistema. Fonte: <http://energiaheliotermica.gov.br/pt-br/glossario/lcoe>

despesas operacionais e as não operacionais da planta. Para calcular o LCOE são necessários orçamentos do projeto executivo da planta e para que uma planta se torne rentável considera-se que $R\$109 - LCOE > R\$ 60$. Portanto, com base nessas premissas o LCOE deve ser de no máximo R\$ 49/ton.



LCOE com valor máximo de R\$ 49/ton

6. Considerações finais

Diante da importância da atividade avícola para o desenvolvimento socioeconômico, da possibilidade de geração de energia renovável e do seu papel enquanto alternativa ao cumprimento da legislação ambiental, fica evidente a necessidade de definir as rotas tecnológicas para viabilização do tratamento dos resíduos da avicultura de corte brasileira. Além de impulsionar soluções para problemas de infraestrutura e logística no fornecimento de energia para cargas críticas localizadas em zonas rurais, aumenta-se a competitividade deste setor.

A utilização de cama de aves pode gerar oportunidades de negócios e ser rentável sob o ponto de vista de tratamento via biodigestão anaeróbia, porém, deve-se destacar que superar desafios técnicos para concretização desse cenário é fundamental de modo que sua utilização seja amplamente difundida. A compreensão sobre o impacto de ajustes operacionais (como a variação de temperatura) é uma das etapas para contribuir com a implementação de novos e atuais projetos.

Ao longo deste documento, foi evidenciado que a temperatura é um parâmetro operacional importante durante a digestão anaeróbia, com capacidade de influenciar a velocidade de degradação, o volume final acumulado

de biogás e o teor de metano do biogás principalmente em resíduos ricos em material lignocelulósico, neste caso a cama de frango.

A adoção de sistemas aproveitando a cama de frango deve ser submetida a análises técnicas e financeiras, considerando equipamentos que tenham a *performance* desejada, em conjunto a uma avaliação do impacto financeiro relativo à aquisição de tecnologias, assim como, a determinação modelos onde a substituição da comercialização da cama de frango *in natura* pela biodigestão seja atrativa.

Agradecimentos

A presente nota é resultado do esforço empreendido pelo Centro Internacional de Energias Renováveis – CIBiogás e a Universidade Tecnológica Federal do Paraná por meio do Grupo de Pesquisa em Tecnologias de Produção e Purificação de Biogás da UTFPR - MD. Ao Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação – MCTI e a UNIDO, instituições implementadoras do Projeto de Aplicações do Biogás na Agroindústria Brasileira.

Referências bibliográficas

ABPA - Associação Brasileira de Proteína Animal. **Relatório anual 2018**. Disponível em: <http://abpa-br.com.br/relatorios/> Acesso em: 01.fev. 2020.

ANGELIDAKI, I., AHRING, B. K. Anaerobic thermophilic digestion of manure at different ammonia loads: effect of temperature. **Water Research**, v. 28, n. 3, p. 727-731, 1994.

AVICULTURA INDUSTRIAL. **Etapas do manejo de frango de corte**. Revista digital. 2020. Acesso em Set. 2020. Disponível em: <https://www.aviculturaindustrial.com.br/imprensa/etapas-do-manejo-de-frango-de-corte/20130307-090133-h028>

CIBIOGAS/GREEID. **Low Carbon Business Action**, Phase 2 Brazil. Foz do Iguaçu, Brasil. 2019.

EMBRALM. **Agregando renda aos produtores com a utilização de biodigestores**. Relatório de caso. 2020.

INDAP. 2016. **“Biogás de Resíduos Agropecuarios En La Región de Los Ríos.”** Santiago: INDAP - Instituto de Desarrollo Agropecuario. <https://www.goredelosrios.cl/wp-content/uploads/2018/01/Libro-Biogas-PRDSAP-Región-de-Los-Ríos.pdf>.

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Relatório Anual 2020. Disponível em: http://abpa-br.org/wp-content/uploads/2020/05/abpa_relatorio_anual_2020_portugues_web.pdf

OECD-FAO. Organisation for Economic Co-operation and Development, Food and Agriculture Organization. **OECD-FAO Agricultural Outlook 2018-2027**. 2018. OECD Publishing, Paris/FAO, Rome.

SPEECE, R.E. **Anaerobic biotechnology: for industrial wastewater**. Nashville: Archae, 1996. 394p.

TRADE MAP. **Trade Statistics for International Business Development**. 2020. Disponível em: https://www.trademap.org/Country_SelProduct.aspx?nvpm=1%7c%7c%7c%7c%7c0207%7c%7c%7c4%7c1%7c1%7c2%7c1%7c1%7c2%7c1%7c1%7c1



MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÕES

