



DESEMPENHO DA BIODIGESTÃO ANAERÓBIA EM GRANJAS SUINÍCOLAS NA REGIÃO DE PARÁ DE MINAS - MG

Marcela de Souza Silva¹

Carolina Dutra Silva²

Jackeline Evelen de Oliveira Mori²

Brenno Santos Leite³

Sibele Augusta Ferreira Leite³

Reaproveitamento, reutilização e tratamento de resíduos (sólidos e líquidos)

Resumo

A biodigestão anaeróbia é um processo de tratamento de águas residuárias, para a remoção da matéria orgânica disponível e produção de biogás, que pode ser utilizado para gerar energia elétrica. A suinocultura é uma das atividades agropecuárias mais importantes para a economia do Brasil, no estado de Minas Gerais, temos a cidade de Pará de Minas como um dos maiores polos suinícolas da região. Entretanto, essa atividade possui potencial poluidor como a geração de água residuária rica em matéria orgânica. Deste modo, o objetivo deste trabalho foi investigar a eficiência dos processos de biodigestão anaeróbia, em função da redução da matéria orgânica e na produção de biogás na região de Pará de Minas – Minas Gerais. Para isso, foi realizada seleção de granjas a serem estudadas, caracterização das águas residuárias e efluentes tratados por meio de análises laboratoriais de parâmetros físicos e químicos, e cálculo de eficiência da remoção de matéria orgânica. Os resultados obtidos mostraram que na região de estudo existe 23 granjas que possuem biodigestores anaeróbios. Foram visitadas 6 granjas, que ao fazer a caracterização das águas residuárias e efluentes delas, observou-se que apesar das mesmas terem potencial para gerar energia por meio do biogás, elas (exceto uma) não alcançaram a porcentagem de remoção de matéria orgânica exigida pela legislação. Portanto, concluiu-se que é necessário um controle rigoroso na operação dos parâmetros operacionais de biodigestores anaeróbios para se ter maior desempenho no processo.

Palavras-chave: Biogás; Matéria orgânica; Tratamento de Águas Residuárias.

¹ Aluna do curso de Mestrado em Manejo e Conservação de Ecossistemas Naturais e Agrários, Universidade Federal de Viçosa – Campus Florestal, marcelagavino189@gmail.com

² Alunos do curso de Graduação em Tecnologia em Gestão Ambiental, Universidade Federal de Viçosa, Instituto de Ciências Exatas e Tecnológicas, carolinadutrasilva2008@gmail.com, jackolivemori@gmail.com

³ Professores orientadores. Universidade Federal de Viçosa – Campus Florestal, - Instituto de Ciências Exatas e Tecnológicas, brennoleite@ufv.br; sibeleaugusta@ufv.br



INTRODUÇÃO

A biodigestão anaeróbia (BAn) é um processo de tratamento de águas residuárias, aplicável a diversos setores da agroindústria e que vem se destacando no seguimento da bioenergia, pelo benefício da produção de biogás ((BHATTACHARYYA; BANERJEE, 2007; APROBIO, 2023). O processo de BAn ocorre devido à ação de microrganismos, que possuem habilidades de degradar a matéria orgânica (MO), reduzindo a carga poluidora das águas residuárias e produzindo um gás rico em dióxido de carbono (CO₂) e metano (CH₄), o qual é conhecido como biogás (ARSHADI;SELLSTEDT, 2008).

De acordo com o estudo realizado pela Associação Brasileira de Biogás (Abiogás), o Brasil possui um potencial de produção de biogás estimado em 84,6 bilhões de metros cúbicos por ano, o que poderia resultar em 36,7 gigawatts de energia elétrica. No entanto, apenas 2% dessa capacidade é atualmente aproveitada, indicando um amplo espaço para crescimento e avanço do setor de biogás no país (ABIOGÁS, 2021). A maior parte deste potencial provém do setor sucroenergético (49,2%), seguido pelo setor de proteína animal (30,2%), incluindo a suinocultura, a produção agrícola (15,4%) e o setor de saneamento (5,2%) (EPE, 2023).

A suinocultura é uma das atividades agropecuárias mais importantes para a economia do Brasil, o país é o quarto maior produtor de carne suína no mundo, tornando-se essa uma atividade significativa para o país (Associação Brasileira dos Criadores de Suínos –ABCS, 2023). Apesar da sua relevância econômica, a produção de carne suína é uma atividade com potencial poluidor significativo (CONTI; DRAGUNSKI, 2015).

No Brasil, a produção de carne suína gera aproximadamente 32 milhões de toneladas de resíduos por ano, sendo a água residuária proveniente da criação de suínos um dos principais resíduos (FOSTER-CARNEIRO *et al.*, 2013; EPE, 2014). Essa água residuária é composta pelos dejetos suínos, pela água utilizada para dessedentação animal e para a limpeza das baias. Ela é caracterizada por uma quantidade significativa de matéria orgânica e de nutrientes, como fósforo e nitrogênio. A BAn é uma tecnologia adequada para tratar essas águas residuárias, prevenindo os impactos ambientais da suinocultura e possibilitando a geração de biogás (LEITE *et al.*, 2023).



EXTREMOS CLIMÁTICOS: **IMPACTOS ATUAIS** E RISCOS FUTUROS

Conforme a Associação Brasileira dos Criadores de Suínos (2011) e a Empresa de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA (2022), Minas Gerais está entre os principais estados produtores do país, com 241 mil matrizes, ocupando o quarto lugar, atrás de Santa Catarina, Rio Grande do Sul e Paraná.

A região centro-oeste de Minas Gerais, objeto deste estudo, desempenha um papel fundamental nas cadeias produtivas de aves e suínos. O presidente da Associação dos Suinocultores do Estado de Minas Gerais destaca que essa região produz e processa proteína de alta qualidade. Pará de Minas, em particular, é um dos maiores polos suínícolas do estado, reconhecido oficialmente pelo Governo do Estado de Minas Gerais como um Arranjo Produtivo Local (APL) de Aves e Suínos (ASEMG, 2023).

Em função da importância local desta atividade, atenção especial deve ser dada ao processo de tratamento das águas residuárias. Segundo o trabalho “Potencial de bioenergia a partir de atividades suínícolas na Região de Pará de Minas (no Alto São Francisco)”, realizado por este grupo, 55 % das granjas do município possuem biodigestor anaeróbio, para tratar as águas residuárias. Embora este seja um indicativo importante, para que os biodigestores anaeróbios cumpram o papel de minimizar impactos ambientais é necessário que eles sejam eficientes.

Uma forma de avaliar a eficiência do processo é monitorar a redução da matéria orgânica. Essa avaliação pode ser realizada por meio da análise de sólidos voláteis (SV), a qual é indicativo da quantidade de sólidos orgânicos voláteis presentes no substrato. A redução nos SV indica a degradação da MO pelo processo de tratamento da água residuária (MACHADO, 2023). Também é importante monitorar, concomitantemente, parâmetros que influenciam o desempenho da BAn, tais como pH, temperatura, nutrientes e relação entre o acúmulo de ácidos orgânicos voláteis e alcalinidade (AI/AP) (Kunz et al. 2019).

Deste modo, o objetivo deste trabalho foi investigar a eficiência dos processos de biodigestão anaeróbia, na região de Pará de Minas – Minas Gerais, em campanha única de amostragem no período de janeiro a fevereiro de 2024. A investigação foi realizada em função da redução da matéria orgânica, avaliada por sólidos voláteis e pelos parâmetros de processo, bem como pH, sólidos totais (ST) e relação entre o acúmulo de ácidos orgânicos voláteis e alcalinidade (AI/AP).



METODOLOGIA

Seleção das granjas

As granjas estudadas foram selecionadas a partir do trabalho “Obtenção de dados para proposição de modelos matemáticos para aprimorar o controle operacional de biodigestores anaeróbios, através de estudo da relação entre parâmetros físico-químicos. (Trabalho em fase de elaboração”, realizado por SILVA, D. A. R. (2024). Neste trabalho, foi realizada a identificação e caracterização das granjas presentes na cidade de Pará de Minas conforme informações disponibilizadas pelo Instituto Mineiro de Agropecuária (IMA).

Para a elaboração dos mapas com os dados contribuintes à identificação e mapeamento temático, utilizou-se a malha digital do município de Pará de Minas, localizado em Minas Gerais, fornecida pelo acervo da Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IDE-Sisema). Os mapas foram elaborados utilizando o Sistema Referência de Coordenadas (CRS), Universal Transversa de Mercator (UTM), 23S, e em todas as etapas foram utilizadas ferramentas de geoprocessamento do *software* QGIS® 2.8.4 Wien. O sistema UTM utiliza coordenadas cartesianas bidimensionais para dar localizações na superfície global, é um sistema projetado em graus e é específico para minimizar distorções locais (QGIS Development Team, 2009). Foi selecionado esse sistema para a análise dos dados pois o mesmo minimiza as possíveis distorções geográficas e aceita coordenadas geográficas para localizar os empreendimentos.

Caracterização das águas residuárias e efluentes tratados

A amostragem foi realizada a partir da coleta de um volume de material suficiente para fins analíticos, seguindo as devidas recomendações para conservação e preservação das amostras, previstas no *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2017).

As águas residuárias e o efluente, antes e após o biodigestor anaeróbio, respectivamente, foram caracterizadas de acordo com os seguintes parâmetros físicos e químicos: pH, sólidos totais (ST), sólidos voláteis (SV), alcalinidade intermediária e parcial (AI/AP). A Tabela 1 apresenta as metodologias utilizadas para cada parâmetro analisado.



Tabela 1 – Procedimentos para análise dos parâmetros de biodigestão anaeróbia.

Parâmetro	Método Analítico
Sólidos Totais	Método gravimetria (2540 B e E) (APHA, 2017)
Sólidos Voláteis	Método gravimetria (2540 B e E) (APHA, 2017)
Acúmulo de ácidos orgânicos voláteis e alcalinidade ¹	Titulometria com ácido sulfúrico ¹
pH	4500 H + B. Electrometric Method

¹Amostragem e preservação APHA, 2017; Método Analítico: Kunz; Steinmetz; Amaral (2019).

Fonte: Adaptado de APHA, 2017.

• Cálculo de eficiência da remoção de matéria orgânica

Para os sistemas de biodigestão, uma metodologia empregada na avaliação da eficiência do procedimento consiste na determinação da disparidade entre os teores de sólidos voláteis presentes na entrada e na saída do sistema. A redução dos sólidos voláteis evidencia a ocorrência de decomposição biológica e a subsequente redução da carga orgânica do processo, a qual pode ser transformada em biogás ao longo do processo de biodigestão (KUNZ *et al.*, 2019).

$$Eficiência(\%) = \frac{(SVe - SVs)}{SVe} \times 100$$

Onde SVe = Sólidos voláteis da água residuária coletado na entrada dos biodigestores e SVs = Sólidos voláteis da água residuária coletado na saída dos biodigestores.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

• Seleção das granjas

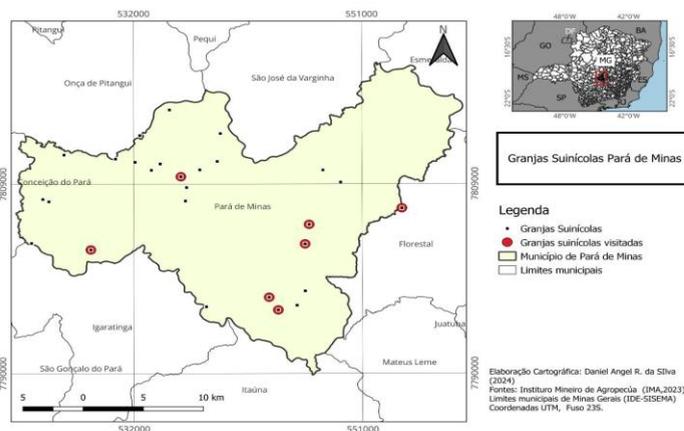
Segundo trabalho apresentado por SOUSA (2019) a região Alto Paranaíba concentra o maior número de granjas suínícolas de Minas Gerais, com 39 % do plantel mineiro, seguido da Zona da Mata com 25 % do plantel. Ressalta-se que a cidade de Pará de Minas localizada na região do Alto Paranaíba concentração de granjas com a maior produção de suínos do estado.



Segundo informações disponibilizadas pelo Instituto Mineiro de Agropecuária IMA constam identificadas 41 granjas na área de estudo, sendo que 27 destas possuem biodigestor instalado na propriedade, que representa aproximadamente 66% das propriedades. Contudo, apesar da presença de biodigestores nas granjas, observou-se que poucas unidades apresentam unidades de cogeração de energia. Deste modo, utiliza-se o BAn apenas como ferramenta de tratamento dos efluentes gerados, contudo, sem aproveitamento do potencial energético.

Na sequência apresenta-se a delimitação geográfica do estudo utilizado para a realização deste trabalho (Figura 1). Neste consta a identificação das granjas com e sem biodigestor no perímetro de estudo, sendo também identificadas as unidades visitadas.

Figura 1: Granjas suínícolas existentes em Pará de Minas que possuem biodigestor.



Fonte: Daniel Angel R. da Silva, 2024

Amostragem e caracterização dos resíduos líquidos nas granjas visitadas

Embora tenham sido 7 granjas visitadas, na região de Pará de Minas-MG, conforme apresentadas na Figura 1, apenas em 6 unidades foram coletadas amostras de águas residuárias (entrada do biodigestor Entrada/Bruto) e efluentes tratados (após sair do biodigestor Efluente/Tratado). É importante enfatizar que foi mantido o sigilo quanto ao nome da propriedade e respectivo proprietário de modo a preservar a confidencialidade das informações. Na Tabela 2. são apresentadas as caracterizações das águas residuárias e efluentes tratados das 6 granjas visitadas.



EXTREMOS CLIMÁTICOS: **IMPACTOS ATUAIS** E RISCOS FUTUROS

Tabela 2: Caracterização das águas residuárias e efluentes oriundos das 6 granjas contendo biodigestores anaeróbios visitadas no presente projeto.

Granjas	Efluente	pH	AI/AP	SV (g/L)	Ef.(%) ¹
Granja 1	Entrada	6,63	1,75	12,3	39,63
	Saída	7,66	0,21	7,43	
Granja 2	Entrada	7,03	1,68	7,9	31,01
	Saída	7,84	0,2	5,45	
Granja 3	Entrada	6,92	1,08	11,28	58,95
	Saída	7,58	0,09	4,63	
Granja 4	Entrada	6,89	1,17	13,05	40,23
	Saída	7,87	0,06	7,8	
Granja 5	Entrada	6,81	3,61	4,15	59,04
	Saída	7,71	0,11	1,7	
Granja 6	Entrada	5,78	1,7	9,1	84,62
	Saída	7,79	0,05	1,4	
Granja referência ²	Entrada	6,32	2,78	23,1	75,45
	Saída	7,82	-	5,67	

¹Eficiência da remoção de matéria orgânica; ² SANTOS, *et al.*, 202

Uma maneira eficaz de controlar o equilíbrio do sistema de tamponamento e monitorar indiretamente os ácidos produzidos no processo de biodigestão anaeróbia é comparar as relações entre a Alcalinidade Intermediária (AI) e a Alcalinidade Parcial (AP). Essa comparação ajuda a entender melhor como os ácidos estão sendo produzidos e processados, garantindo um sistema mais estável e eficiente. Segundo Kunz *et al.* (2019) a relação AI/AP maior que 0,4 indica reator em sobrecarga, relação entre 0,3-0,4 faixa ótima e relação menor que 0,3 o reator está em subcarga.

Diante do exposto, observa-se que todos os reatores apresentaram sobrecarga no início do processo, e no fim do processo se encontraram em subcarga ficando abaixo da faixa ótima de operação, contudo, é recomendado que seja realizado o acompanhamento deste parâmetro para observar possíveis variações bruscas e executar ações corretivas, quando necessário.

Segundo CHERNICHARO (2008) o pH influencia diretamente o processo, considerando que pH entre 6 e 8 é favorável para a maior eficiência do processo anaeróbio. Os valores observados na maior parte do monitoramento do presente estudo, encontram-se dentro desta faixa, o que corrobora o bom funcionamento dos equipamentos.



Eficiência da remoção de matéria orgânica

Com base no teor de sólidos voláteis (Tabela 2) das águas residuárias foi possível calcular a eficiência dos biodigestores. A demanda bioquímica de oxigênio (DBO) descreve a quantidade de oxigênio dissolvido que é requerida ou consumida pelos microrganismos para degradar a matéria orgânica disponível. Assim, ambos (SV e DBO) são indicadores da presença de matéria orgânica na água, o que atribui uma correlação direta entre esses parâmetros. Amostras com alta concentração de sólidos voláteis tendem a ter alta DBO porque ambos refletem a quantidade de matéria orgânica disponível para a atividade microbiana (MENESES *et al.*, 2022).

Segundo a CONAMA 430/2011 o processo é eficiente quando a remoção de 60% da matéria orgânica disponível, em termos de DBO. Deste modo, observa-se que as Granjas 1 a 5 apresentaram uma menor eficiência, com uma baixa remoção de SV (31,01 a 59,04 %). Estas eficiências indicam que poderá não haver o cumprimento dos requisitos da Resolução CONAMA 430/2011, para DBO. A Granja 6 atingiu uma eficiência de 84,62%, alcançando a porcentagem estabelecida pela resolução.

Ainda tratando a eficiência tem-se que uma maior eficiência quando realizada no meio que possua condições mais adequadas ao processo, como, temperatura, pH e tempo de retenção hidráulica (Kunz *et al.*, 2019). A eficiência dos biodigestores da granja referência é de 75,45%, e as granjas investigadas apresentaram eficiência inferior a referência, com exceção da granja “6”.

A temperatura do processo é um parâmetro que deve ser observado e monitorado, pois influencia diretamente a remoção da matéria orgânica e está associada à produção de biogás. Temperatura entorno de 35 °C proporciona maior produção de biogás quando comparada às temperaturas de inferiores a 30 °C (Deng *et al.*, 2014). Segundo Chae *et al.* (2008) a produção de biogás está associada a uma faixa de temperatura ótima de atividade microbiana no processo de biodigestão.

As amostragens foram realizadas entre janeiro e fevereiro de 2024, no verão onde as temperaturas máximas médias ficam em torno dos 28 °C na região Serrana e 31 °C nas demais regiões de Minas Gerais (Weather Spark, 2024), temperatura abaixo do ideal para o processo. Contudo as médias das eficiências estão próximas aos valores observados por Silva *et al.* (2015) 41% que caracteriza os dejetos suínos produzidos na granja de suinocultura de São miguel do Iguaçu -PR com o intuito de obter relações que podem ser de grande importância na operação de biodigestores rurais.



EXTREMOS CLIMÁTICOS: **IMPACTOS ATUAIS** E RISCOS FUTUROS

Diversos autores apresentaram trabalhos com objetivo de calcular a eficiência dos biodigestores anaeróbios a partir da porcentagem de remoção da carga orgânica. Dentre eles, Viancelli *et al.* (2013) que observaram uma eficiência média de 47 % na redução de parâmetros químicos e microbiológicos na granja de suinocultura da Embrapa Suínos e Aves, Concórdia, SC; Machado *et al.* (2015) que observou uma eficiência média de redução de carga orgânica de 68 %, superior ao autor supracitado, na pesquisa realizada na granja do Sítio Panorama, localizado no município de Teixeira – MG. Diante desde cenário VIVAN *et al.* (2010) avalia que, considerando às condições ambientais adequadas no Brasil, juntamente com os baixos custos de operação, a eficiência na remoção de carga orgânica e a viabilidade de uso dos subprodutos, os sistemas de tratamento anaeróbico devem ser encorajados.

CONCLUSÕES

Observou-se durante as análises dos resultados, que os empreendimentos apesar de possuírem capacidade em questão de matéria prima, não atingiram a porcentagem estabelecida pela resolução CONAMA 430/2011 (exceto a granja 6), em relação a redução de DBO, que representa matéria orgânica disponível, assim como os outros estudos apresentados durante a discussão.

A biodigestão anaeróbia é um processo promissor para o Brasil, mas é observado e analisado que deve ter um controle rigoroso na operação por parte dos empreendimentos, para que o processo ocorra com parâmetros como pH, temperatura e tempo de retenção hidráulica em faixas ideais, para que atinja a eficiência esperada e desejada.

Por fim, os resultados deste estudo nos mostraram que foi possível investigar a eficiência dos processos de biodigestão anaeróbia, em função da redução da matéria orgânica.

AGRADECIMENTOS

Instituto Mineiro de Agropecuária (IMA); Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais- FAPEMIG (Processo APQ-01037-22), Universidade Federal de Viçosa; PIBIC UFV/Edital FAPEMIG 2023-2024.



REFERÊNCIAS

ABIOGÁS. Potencial brasileiro de biogás. 2021. Disponível em: <https://abiogas.org.br/potencial-do-biogas-no-brasil> Acesso em 17 de fev. de 2024.

APHA. American Public Health Association, & American Water Works Association. Standard methods for the examination of water and wastewater. American public health association. 2017.

APROBIO – ASSOCIAÇÃO DOS PRODUTORES DE BIOCOMBUSTÍVEIS DO BRASIL. Entenda o que é bioenergia, suas principais características e quais combustíveis produzidos a partir dela. 2023. Disponível em: <https://aprobio.com.br/noticia/entenda-o-que-e-a-bioenergia-suas-principais-caracteristicas-e-quais-combustiveis-produzidos-a-partir-dela> Acesso em 07 de mai. de 2024.

ARSHADI, M.; SELSTEDT, A. Production of Energy from Biomass In CLARCK, J.; DESWARTE, F.(ed): **Introduction to Chemicals from Biomass**, John Wiley and Sons, 2008, p. 143-176.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE SUINOCULTURA - ABCS. Mapeamento da Suinocultura Brasileira. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS CRIADORES DE SUÍNOS – ABCS. **Manual brasileiro de boas práticas agropecuárias na produção de suínos**. Brasília, DF: ABCS; MAPA; Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2011. 140 p.

ASSOCIAÇÃO DE SUINOCULTURA DO ESTADO DE MINAS GERAIS – ASEMG. Região de Pará de Minas recebe reconhecimento de arranjo produtivo local de avicultura e suinocultura. 2023. Disponível em: <https://www.asemg.com.br/regiao-de-para-e-minas-recebe-reconhecimento-de-arranjo-produtivo-local-de-avicultura-e-suinocultura/> Acesso em 25 de jul. de 2023.

BHATTACHARYYA, B.C., BANERJEE, R., Environmental Biotechnology. Oxford University, 2007. 338 p.

CHAE, K. J. et al. The effects of digestion temperature and temperature shock on the biogas yields from the mesophilic anaerobic digestion of swine manure. Bioresource Technology, v. 99, n. 1, p. 1–6, 2008.

CHERNICHARO, C. A. DE L. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. 2.ed. Belo Horizonte: DESA, UFMG, 2007, 380 p.



EXTREMOS CLIMÁTICOS: **IMPACTOS ATUAIS** E RISCOS FUTUROS

CONTI, J. C.; DRAGUNSKI, D. C. Uso de Resíduos da Suinocultura: aspectos relevantes para a produtividade e impactos ambientais. In: **ENCONTRO CIENTÍFICO CULTURAL INTERINSTITUCIONAL**, Cascavel: FAG, Anais, 2015, p. 1-9. Disponível em: [5babc13c4a550.pdf \(fag.edu.br\)](#). Acesso em: 28 de fev. de 2024.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Publicação DOU nº 92, de 16/05/2011, pág. 89.

DENG, L., YANG, H., LIU, G., ZHENG, D., CHEN, Z., LIU, Y., XIAODONG, P., DONG, L., WANG, Z., LEI, Y. Kinetics of temperature effects and its significance to the heating strategy for anaerobic digestion of swine wastewater. *Applied energy*, v. 134, p. 349-355, 2014.

EMBRAPA - Embrapa Suínos e Aves. **Estatísticas**. 2022. Disponível em: [Estatísticas - Portal Embrapa](#). Acesso em: 25 de jul. de 2023.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Balanço Energético Nacional 2023. Rio de Janeiro, 2023. Disponível em: < <http://www.epe.gov.br> > Acesso em: 28 de fev. 2024.

FORSTER-CARNEIRO, T.; *et al.* Biorefinery study of availability of agriculture residues and wastes for integrated biorefineries in Brazil. *Resources, Conservation and Recycling*. 2013, 77, 78-88. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921344913001262?via%3Dihub> Acesso em: 20 de jun. 2023.

KUNZ, A.; STEINMETZ, R. L. R.; AMARAL, A. C. do. **Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato**. 2. ed. Concórdia: Sbera: Embrapa Suínos e Aves, 2019. 211 p.

LEITE, S.A.F.; *et al.* Swine meat production integrated with energy cogeneration: challenges and opportunities in using anaerobic biodigestion. *Bioscience Journal*. 2023, 39, e39087. <https://doi.org/10.14393/BJ-v39n0a2023-66926> Acesso em: 26 de jun. de 2023.

MACHADO, G. B. Biodigestão Anaeróbia. Portal do Biogás, 2023. Disponível em: [Biodigestão Anaeróbia - As 4 fases \(portaldobiogas.com\)](#) Acesso em 07 de mai. de 2024.

MACHADO, N. S., DA SILVA, J. N., DE OLIVEIRA, M. V. M., COSTA, J. M., BORGES, A. C. Remoção do sulfeto de hidrogênio do biogás da fermentação anaeróbia de dejetos de suínos utilizando óxido de ferro, hidróxido de cálcio e carvão vegetal. *Energia na agricultura*, v. 30 n.4, p.344-356, 2015

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Meio-Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IDE-

SISEMA). Disponível em: <https://www.meioambiente.mg.gov.br/ide-sisema>. Acesso em: 15 maio 2024.



EXTREMOS CLIMÁTICOS: **IMPACTOS ATUAIS** E RISCOS FUTUROS

ROCHA-MENESES, L. et al. Current progress in anaerobic digestion reactors and parameters optimization. Biomass Conversion and Biorefinery, 6 jan. 2022.

SILVA, D. A. R. Obtenção de dados para proposição de modelos matemáticos para aprimorar o controle operacional de biodigestores anaeróbios, através de estudo da relação entre parâmetros físico-químicos. 2024. (Trabalho em fase de elaboração).

SILVA, F. P., BOTTON, J. P., DE SOUZA, S. N. M., HACHISUCA, A. M. M. Parâmetros físico-químicos na operação de biodigestores para suinocultura. Revista Tecnológica, p.33-41. 2015

SANTOS, Lucas Alves et al. MONITORAMENTO DO PROCESSO DE DIGESTÃO ANAERÓBIA EM GRANJA DE SUÍNOS. Participação Social, Ética e Sustentabilidade, 17º Congresso Nacional do Meio Ambiente, 2020.

SOUSA, I. D. P. Estudo do potencial energético a partir do biogás produzido em biodigestores modelo lagoa coberta e compreensão das variáveis determinantes no processo de degradação. Dissertação (Mestrado) – Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2019.

VIANCELLI, A., KUNZ, A., STEINMETZ, R. L. R., KICH, J. D., SOUZA, C. K., CANAL, C. W., COLDEBELLA, A. ESTEVES, P. A., BARARDI, C. R. M. Performance of two swine manure

treatment systems on chemical composition and on the reduction of pathogens. Chemosphere, v. 90, n. 4, p. 1539-1544, 2013.

VIVAN, M. et al. Eficiência da interação biodigestor e lagoas de estabilização na remoção de poluentes em dejetos de suínos. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 14, n. 3, p. 320-325, 2010.

QGIS Development Team. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project, 2009. Disponível em: QGIS.org.

Weather Spark. Clima característico em Pará de Minas, Minas Gerais, Brasil durante o ano. Disponível em: Weather Spark. Acesso em: 13/05/2024.