

## ARTIGO

<http://www.gvaa.com.br/revista/index.php/INTESA>

A SIGNIFICÂNCIA DAS RELAÇÕES INTERPESSOAIS NAS CONSTRUÇÕES INICIAIS DA PERSONALIDADE NA INFÂNCIA: UM RECORTE ERIKSONIANO



# *Uso do biogás para eficiência energética na agroindústria e na agropecuária* *Use of biogas for energy efficiency in agroindustry and farming*

**Rossino Ramos de Almeida<sup>1</sup>, Patrício Borges Maracajá<sup>1</sup>, Daniel Casimiro da Silveira<sup>1,2</sup>, Aline Carla de Medeiros<sup>1,2</sup>, José Pereira da Silva Filho<sup>1</sup>, Adryele Gomes Maia<sup>3</sup>, Rubilene Agra da Silva<sup>1</sup>, Rosilene Agra da Silva<sup>1</sup>, Sângela Maria Pereira dos Santo<sup>1</sup>, Alan Del Carlos Gomes Chaves<sup>1,2</sup>**

### ARTIGO

### RESUMO

*Recebido:*  
20/07/2024

*Aprovado:* 24/09/2024

*Palavras-chave:*  
*Biodigestor; Gás;*  
*Energia;*  
*Biofertilizante;*  
*Agricultura.*

A criação de técnicas, bioprocessos e práticas sustentáveis como a geração de energia através de biocombustíveis estão dentre os enfoques com maior ênfase. Tem-se uma abordagem integrada e voltada para as soluções e/ou adaptações que preservem os recursos naturais relacionados com a energia para a produção de alimentos. Nessa vertente, considerando a importância de uma energia renovável que supra as necessidades energéticas da empresa e apresente viabilidade econômica e ambiental, surge uma visão positivista para a geração de bioenergia a partir da biodigestão anaeróbica. Por sua vez, esta tecnologia apresenta interesse econômico decorrente dos altos gastos para compra do gás de cozinha, um dos substitutos da técnica a lenha para fogões, a qual pode afetar o meio ambiente com a extração da madeira. Os biodigestores sertanejos produzem o biogás e biofertilizante, excedendo muitas vezes as necessidades da empresa quanto a produção deste bem. Tal processo também garante uma gestão com ciclo ambientalmente viável, ademais da garantia de um forte impacto social. A proposta 'Sistema de produção de biogás e biofertilizantes em empreendimentos agroindustriais tem por objetivo Implantar sistema de biodigestor em empreendimentos agroindustriais, visando a produção de biogás para cogeração de energia elétrica ou térmica e de biofertilizantes para a produção agrícola nas comunidades rurais.

### ABSTRACT

*Key words:*  
*Biodigester; Gas;*  
*Energy; Biofertilizer;*  
*Agriculture*

The development of techniques, bioprocesses, and sustainable practices, such as energy generation through biofuels, is among the most emphasized approaches in contemporary research. An integrated perspective is adopted, focusing on solutions and adaptations that preserve natural resources related to energy for food production. In this context, considering the importance of renewable energy to meet the energy needs of enterprises while presenting economic and environmental viability, a positivist view emerges regarding the generation of bioenergy from anaerobic digestion. This technology holds economic interest due to the high costs associated with purchasing cooking gas, which is a common substitute for wood-burning stoves—an alternative that negatively impacts the environment through wood extraction. Rural biodigesters produce biogas and biofertilizers, often exceeding the needs of enterprises for these products. This process not only ensures environmentally viable management but also guarantees a significant social impact. The proposal titled "System for the Production of Biogas and Biofertilizers in Agro-industrial Enterprises" aims to implement a biodigester system in agro-industrial ventures, focusing on the production of biogas for the cogeneration of electrical or thermal energy, as well as biofertilizers for agricultural production in rural communities...

## INTRODUÇÃO

A agropecuária, no Brasil, caracteriza-se, dentre outros fatores, pela grande quantidade de resíduos sólidos orgânicos gerados, e sua disponibilidade permite que sejam utilizados para fins energéticos (Vinzelj et al., 2020). Os incentivos fiscais, e lucro rápido no setor, contribuem para intensificar o aumento da quantidade de dejetos, gerando problemas de ordem sanitária, provocada pelos microrganismos patogênicos presentes no material orgânico, e ambiental, contribuindo para a contaminação do solo, água e ar (Sturmer et al., 2021). A intensificação das atividades agropecuárias tem proporcionado um aumento considerável na produção de biomassa com elevada concentração de genes resistentes a antibióticos. Estando relacionado à utilização em demasia de fármacos na criação de gado, resultando em problemas sanitários, isso porque são descartados de forma inadequada e sem pré-tratamento, no solo e na água (Zhang et al., 2021).

Do ponto de vista econômico e social, o sistema biointegrado de atividades rurais é de grande importância para as pequenas e médias propriedades rurais, e também para a preocupação com o meio ambiente. A destinação inadequada dos dejetos de animais nas propriedades rurais é um problema encontrado pelos agricultores, pois além de afetar o meio ambiente, traz danos que podem prejudicar a saúde desses agricultores e determinar maiores custos administrativos. As propriedades rurais brasileiras estão se modernizando em virtude das inovações tecnológicas e de gestão no setor agroindustrial (Dawangpa et al., 2021). O uso de energias renováveis é uma alternativa tecnológica capaz de gerar ótimos resultados, melhorando a gestão dos recursos econômicos da propriedade, reduzindo problemas ambientais pelos resíduos orgânicos e evitando problemas à saúde humana em razão da contaminação do meio ambiente, além de contribuir para a estabilização dos níveis de consumo dos recursos naturais e solucionar o problema de abastecimento energético mundial (Barbosa e Langer, 2011).

Uma dessas tecnologias é a biodigestão, que pode gerar tanto benefícios ambientais pela eliminação de resíduos dispostos de modo irregular, diminuindo a contaminação da água, do solo, e do ar, quanto sociais evitando contato humano aos resíduos e à proliferação de pragas e outras doenças correlacionadas à falta de saneamento básico, além dos econômicos que podem ser percebidos por meio da geração de energia e uso de biofertilizantes de grande importância para as pastagens e adubação em geral. Os benefícios econômicos são imensos, já que com a implantação do sistema de biodigestores haverá ganhos pela redução de energia comprada e uso dos recursos naturais para geração de energia sustentável mediante tecnologias de produção energética renováveis e mais limpas (Arruda, 2002).

A criação de técnicas, bioprocessos e práticas sustentáveis como a geração de energia através de biocombustíveis estão dentre os enfoques com maior ênfase. Tem-se uma abordagem integrada e voltada para as soluções e/ou adaptações que preservem os recursos naturais relacionados com a energia para a produção de alimentos. Nessa vertente, considerando a importância de uma energia renovável que supra as necessidades energéticas da empresa e apresente viabilidade

econômica e ambiental, surge uma visão positivista para a geração de bioenergia a partir da biodigestão anaeróbia. Por sua vez, esta tecnologia apresenta interesse econômico decorrente dos altos gastos para compra do gás de cozinha, um dos substitutos da técnica a lenha para fogões, a qual pode afetar o meio ambiente com a extração da madeira (Gardoni, 2019).

Os biodigestores sertanejos produzem o biogás e biofertilizante, excedendo muitas vezes as necessidades da empresa quanto a produção deste bem. Tal processo também garante uma gestão com ciclo ambientalmente viável, ademais da garantia de um forte impacto social. A proposta 'Sistema de produção de biogás e biofertilizantes em empreendimentos agroindustriais tem por objetivo Implantar sistema de biodigestor em empreendimentos agroindustriais, visando a produção de biogás para cogeração de energia elétrica ou térmica e de biofertilizantes para a produção agrícola nas comunidades rurais. Desta forma, a proposta apresenta viabilidade técnica no que tange a aplicação de técnicas relacionadas a produção de bioenergias e princípios da economia circular no que se refere a sua gestão com viabilidade econômica na execução dos sistemas de armazenamento de biogás, em detrimento da redução nas despesas com o consumo de energia e botijões de gás. Afinal, espera-se fortalecer e incentivar instituições de ensino e pesquisa, através da divulgação, para utilizarem como modelo os princípios expostos nesta proposta como uma case de sucesso.

### TECNOLOGIAS “LIMPAS” PARA MINIMIZAR OS PROBLEMAS NAS PROPRIEDADES RURAIS

Segundo Seiffert (2007), “[...] tecnologias limpas são sistemas criados para minimizar de alguma forma os poluentes gerados em qualquer que seja o tipo de produção, agrícola, industrial, etc.”. Surgiram, então, as tecnologias para o tratamento de poluentes, a fim de zelar pelos recursos naturais. Conforme Cazarré (2008), uma das tecnologias apresentadas é na construção de biodigestores anaeróbicos cobertos, assim o sistema capturará o biogás gerado pelo tratamento anaeróbico do material orgânico oriundo dos animais confinados. Isso trará uma série de benefícios ambientais, como a redução das emissões de gases de efeito estufa, contribuindo para o desenvolvimento sustentável.

Esse sistema utiliza a biomassa gerada nas propriedades rurais para gerar benefícios a elas. O resultado esperado é a redução significativa das emissões de gases de efeito estufa, quando comparadas às emissões que ocorreriam na ausência do projeto e também promover a produção sustentável de animais confinados pela transformação dos dejetos em energia limpa, resultante da sua queima e geração de biogás. Além disso, pode proporcionar aos produtores rurais a utilização do biogás na geração de eletricidade para suprir a necessidade da própria granja, na qual o produtor decide investir recursos adicionais para a implementação de um gerador.

Segundo Barrera (2003), para as condições brasileiras, o biodigestor rural aproveita todas as sobras orgânicas da propriedade para a produção de gás e fertilizante, reduzindo custos nas propriedades, em que o biofertilizante é usado para o uso na irrigação de cultivos anuais e perenes. Kunz, Perdomo e Oliveira (2004) afirmam ainda que “[...] o sistema de tratamento com biodigestores tem um abatimento de 70 a 80% da carga orgânica, ou seja, ele reduz o poder poluente do dejetos nestas

porcentagens.” O tratamento adequado desses dejetos trará uma série de benefícios ambientais, redução de gases de efeito estufa, ganhos com a utilização do biofertilizante nas lavouras e pastagens e também não ficam disponíveis à criação e proliferação de insetos e roedores; o que acontece com as lagoas anaeróbicas abertas, reduzindo, portanto, a proliferação de insetos, os maiores agentes causadores de doenças para as pessoas que moram nas propriedades.

## BIOMASSA

Considera-se biomassa toda a matéria orgânica que possa ser transformada em energia mecânica, térmica ou elétrica, ela se torna uma das fontes renováveis com grande potencial de crescimento (Agência Nacional de Energia Elétrica, 2024). É contida nos vegetais e nos resíduos florestais e agropecuários, bem como na matéria orgânica presente nos resíduos industriais e rurais.

A biomassa se apresenta de várias formas e pode ser encontrada em grande quantidade no Brasil e no mundo (Rattanaphan; Rungrotmongkol; Kongsune, 2020). Graças ao seu potencial energético, a biomassa pode ser utilizada na geração de energia térmica, elétrica e mecânica incentivada pelos inúmeros impactos ambientais associados a submissão de fontes tidas como poluidoras (Tajmirrahi; Momayez; Karimi, 2021). De acordo com Giannoukos et al. (2021) os dejetos de suínos e bovinos se destacam por apresentar maior capacidade de produção de biogás quando comparados a outros resíduos sólidos. Mancini et al. (2019) explica que o volume de biogás produzido é diretamente proporcional a quantidade e a composição da biomassa, ou seja, não se faz necessário muitos animais para suprir a necessidade doméstica por energia térmica.

No próprio ciclo de produção animal, confinamento e semiconfinamento, pode-se utilizar o biogás resultante do processo de biodigestão anaeróbia, como energia térmica ou elétrica (Wang et al., 2021). Os resíduos sólidos, semissólidos e líquidos, na sua maioria, são importantes fontes orgânicas e que podem ser utilizados como matéria prima na geração do biogás/biofertilizante (Miyawaki et al., 2021). Muitas vezes, esse material, proveniente da atividade agropecuária, é descartado in natura no solo ou em corpos hídricos (Sturmer et al., 2021).

Provocando impactos ambientais como, por exemplo: salinização do solo, desertificação e eutrofização (Mancini et al., 2019). A composição química, população microbiana e carga de nutrientes presentes nos resíduos sólidos, tem efeito direto no sucesso da biodigestão anaeróbia e na composição do biogás (Giannoukos et al., 2021).

A crescente preocupação com o meio ambiente tem levado as nações a exercerem uma política ambiental cada vez mais efetiva e abrangente, visando responder as novas necessidades. Paralelamente a essas exigências ambientais, desenvolveu-se um mercado eficiente de geração energética através do uso de resíduos orgânicos provenientes de diversas fontes, como indústria de alimentos, criação de animais, lixo urbano e agricultura (Jacob; Banerjee, 2016). Pesquisas vêm se concentrando no desenvolvimento ou reaproveitamento de insumos, e a biomassa tem ganhado destaque em razão da sua natureza renovável, ampla disponibilidade, biodegradabilidade e baixo custo (Leung, Wu, Leung, 2010).

## BIODIGESTÃO

A biodigestão é uma tecnologia conhecida e dominada há séculos por algumas civilizações. Contudo, a relevância por parte de alguns setores da sociedade é recente, principalmente devido aos benefícios econômicos, sociais e ambientais, que sua utilização proporciona (Zhang et al., 2021). Redução de custos na propriedade, aumento da renda familiar, saneamento rural, preservação do solo e de mananciais figuram entre os principais. Entretanto, Dawangpa et al. (2021), lembra que os dados referentes a propagação de microrganismos resistentes, por meio do composto orgânico, são inexistentes. São poucos os trabalhos voltados para estudos que destacam a viabilidade econômica da inserção de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais (Nindhia; McDonald; Styles, 2021).

Contudo, para a instalação de um sistema de biodigestão é preciso estudar a implantação do projeto, para que sejam construídas ou adquiridas instalações mais econômicas, facilitando, portanto, o reembolso do investimento inicial. A conversão da matéria orgânica em biogás se processa em quatro fases distintas e fundamentais, a saber: hidrólise, acidogênese, acetogênese e à metanogênese (Giannoukos et al., 2021). Ainda de acordo com Giannoukos et al. (2021), cada fase gera produtos específicos e únicos, os quais serão utilizados nas fases subsequentes do processo de biodegradação dos compostos orgânicos e, conseqüentemente, produção do biogás.

Os microrganismos que são os responsáveis pela manutenção de cada fase do processo de digestão são específicos, tais microrganismos utilizam enzimas intracelulares ou extracelulares para conseguirem quebrar os compostos presentes na matéria orgânica (Perazzoli et al., 2020). Desta forma, os produtos gerados em cada fase do processo contribuem como impulsionadores para os grupos microbianos das fases seguintes, portanto, para que a fase seguinte se processe, é necessário que a fase anterior tenha sido realizada (Sunada et al., 2018). Vale salientar a importância das bactérias no processo, onde a existência de certas substâncias provoca a inibição ou diminuição dos grupos em qualquer fase, podendo ter conseqüências sobre a taxa global e a eficiência do processo metabólico da biodigestão (Zhang et al., 2021).

### Biodigestão anaeróbica

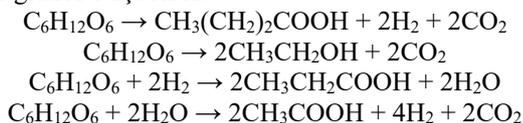
O aproveitamento dos resíduos agroindustriais propõe agregar valor a cadeia produtiva e reduzir os impactos ambientais negativos. A biodigestão anaeróbia é um processo com ampla aplicabilidade para a conversão de resíduos e efluentes orgânicos em biogás e biofertilizante, associando o tratamento adequado à geração de energia renovável (Orrico Junior, 2011).

A biodigestão anaeróbia é uma das inúmeras técnicas utilizadas atualmente para o tratamento de resíduos sólidos orgânicos e que se torna atrativa por gerar biogás e biofertilizante (Nierychlo et al., 2020). O biogás é um biocombustível que apresenta elevado poder calorífico, graças ao gás CH<sub>4</sub> presente em maior proporção na mistura gasosa (LI et al., 2020). Já o biofertilizante pode ser utilizando na forma líquida ou sólida como fertilizante e/ou inseticida natural (Rajput; Zeshan; Hassan, 2021). A nível microbiológico, a biodigestão anaeróbia se processa em 4 fases: hidrólise, acidogênese, acetogênese e

metanogênese (Huang et al., 2020).

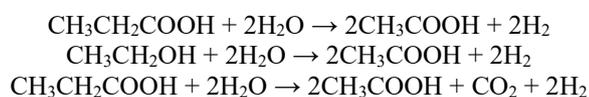
### Hidrólise

Moretti, Bertoncini e Abreu-Junior (2020) argumentam que na hidrólise, ligações moleculares complexas como carboidratos, proteínas e gorduras, são quebradas por enzimas em um processo bioquímico, dando origem a compostos orgânicos simples como aminoácidos, ácidos graxos e açúcares.



### Acetogênese

De acordo com Huang et al. (2020), a acetogênese se caracteriza por ser uma das mais importantes e complicadas do



### Metanogênese

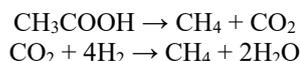
A metanogênese é a última fase do processo anaeróbio e

### Acidogênese

Na acidogênese os produtos resultantes da fase anterior, são convertidos em ácido propanoico, ácido butanoico, ácido láctico, álcoois,  $H_2$  e  $CO_2$  por meio de bactérias fermentativas (Wang et al., 2021). As reações químicas na fase acidogênese resultantes da glicose, são:

processo. Pois é necessário manter o equilíbrio do pH, próximo a neutralidade, para que as bactérias Archeas, responsáveis pela metanogênese, se desenvolvam. Esta fase é representada pelas seguintes reações:

nela ocorre a formação de  $CH_4$ ,  $CO_2$  e  $H_2O$  por meio de vários grupos de bactérias (YANG; CHEN; WEN, 2021). Podendo ser representada pelas reações abaixo:



A técnica de biodigestão anaeróbia da matéria orgânica presente nos resíduos possibilita a diminuição dos sólidos e das demandas química e bioquímica de oxigênio (Misrol et al., 2021). Reduzindo as emissões de gases poluentes do tipo:  $NH_3$ ,  $CH_4$  e  $H_2S$ , além de refrear a quantidade de microrganismos patogênicos no composto já estabilizado (Gardoni; Azevedo, 2019). Sendo isso possível, principalmente devido a algumas condições ambientais exigidas no processo, altas temperaturas e ausência de oxigênio (Panyaping; Moontee, 2017).

Portanto, a biodigestão anaeróbia surge como uma alternativa vantajosa ao tratamento de compostos orgânicos. Pois, diminui o potencial poluidor e os problemas sanitários associados ao descarte inadequado de resíduos sólidos.

### BIOGÁS

O biogás é um complexo gasoso obtido da técnica de decomposição de compostos orgânicos a partir de microrganismos (Mancini et al., 2019). Onde o mesmo é formado por vários gases, sendo os mais comuns e em maiores proporções, o metano ( $CH_4$ ), dióxido de carbono ( $CO_2$ ), gás sulfídrico ( $H_2S$ ) e gás amônia ( $NH_3$ ) (Miyawaki et al., 2021).

O material orgânico utilizado para a produção de biogás é encontrado no ambiente natural e em diversas formas: fezes de animais, resíduos sólidos urbanos e rural, de estações de tratamento de esgoto, agroindústrias, restos de alimentos entre outros (WANG et al., 2021).

O composto gasoso resultante do processo de degradação

anaeróbia pode ser utilizado como meio de aquecimento, em geradores para a produção de energia elétrica e/ou como combustível veicular (Prabhu et al., 2021). Apresenta elevado potencial para a geração de energia térmica, elétrica e/ou mecânica (González-Cortes et al., 2021). Hassaneen et al. (2020) mostra que quanto mais elevado for o percentual de metano no biogás, entre 50 e 80%, maior será seu poder calorífico. Tornando-se mais eficiente que o GLP (Gás Liquefeito de Petróleo) durante o processo de aquecimento dos alimentos (Sadim et al., 2019).

Lemma, Ararso e Evangelista (2021) também ressalta a importância do poder calorífico do biogás para a conversão energética, no entanto, fazem-se necessárias técnicas de purificação para aferir qualidade ao metano, especialmente na eliminação do  $CO_2$  e  $H_2S$ . Segundo Feroldi et al. (2018), quando o biogás contém 96% de metano na sua composição, o mesmo equipara-se ao GNV (Gás Natural Veicular).

Apesar do lento andamento de sua utilização na indústria automobilística, o biogás livre de impurezas (biometano) apresenta perspectivas de crescimento no setor. Isso ocorre devido aos incentivos tecnológicos nos motores a combustão, onde os sistemas, atuais, podem operar com GNV e/ou biometano (Bremond et al., 2021). Segundo Blazquez et al. (2021) e Mukeshimana et al. (2021) a utilização de fontes alternativas e renováveis para a geração de energia elétrica, térmica e/ou mecânica, desponta como uma alternativa socioeconômica e ambiental. Tornando-se adequada porque permite reduzir custos associados ao processo produtivo e

umentar a produtividade.

O biogás ao ser comparado a outros tipos de energia, apresenta particularidades físicas e químicas únicas, além de ser considerado um biocombustível limpo e renovável, diferentemente dos hidrocarbonetos (Ricardo et al., 2018). Obtido por meio de uma técnica natural e simples, do ponto de vista tecnológico, é visto como uma alternativa para comunidades rurais carentes que sofrem com a falta de energia térmica/elétrica, gerando economia e agregando valor econômico ao imóvel rural (Nindhia; McDonald; Styles, 2021). Feroldi et al. (2018) lembra que a melhoria das pesquisas voltadas para os combustíveis, no Brasil, é necessária principalmente quando consideramos as pequenas agroindústrias e consumidores.

A degradação da matéria orgânica, em biodigestores, tem por objetivo a produção do biogás e do biofertilizante em quantidade e qualidade compatíveis com a necessidade local (Guo et al., 2021). Sendo necessário, de acordo com Guo et al. (2021), o acompanhamento técnico, caracterização da biomassa utilizada no processo e o controle de parâmetros físicos e químicos. Nindhia, McDonald e Styles (2021), em suas pesquisas em Bali, Indonésia, relata que o apoio político para reutilização de esterco bovino proporcionou a construção de pequenas unidades de biodigestores anaeróbios (6m<sup>3</sup>) em mais de 752 criadores. Juntos, esses biodigestores produziram o equivalente a 75.482 m<sup>3</sup> de metano.

Segundo Zanandrea (2010), o biogás é gerado por meio da mistura gasosa, resultante da fermentação anaeróbia da matéria orgânica, proporcionada por certas bactérias anaeróbias, denominadas de bactérias metanogênicas. O biogás pode ser

produzido artificialmente com a utilização de um equipamento denominado biodigestor anaeróbio, ou seja, o biodigestor.

De acordo com Oliveira et al. (2008), outro fator importante é a mistura do esterco com água para calcular o volume da carga diária. Para alimentar um biodigestor, é necessário conhecer a média da massa de dejetos produzida e somar a quantidade de água, observando a relação esterco/água. Para que se possa produzir um metro cúbico de biogás, Barrera (2003, p. 11) ressalta que são precisos:

- 25 kg de esterco fresco de vaca ou;
- 5 kg de esterco seco de galinha ou;
- 12 kg de esterco de porco ou;
- 25 kg de plantas ou cascas de cereais ou;
- 20 kg de lixo.

Cada tipo de dejetos tem uma produção específica de biogás, que é dada em m<sup>3</sup> de biogás por kg de sólidos voláteis (SV).

Segundo Oliveira et al. (2008), 1 m<sup>3</sup> de biogás equivale a 6,5 kwh. Partindo-se desse princípio, tem-se que a eficiência de transformação de biogás em energia elétrica é obtida pela razão entre a energia produzida em kwh pela equivalência de 1 m<sup>3</sup> de biogás, ou seja, 1 m<sup>3</sup> de biogás pode gerar aproximadamente 2 kwh de energia elétrica, conforme demonstrado na equação:

$$Eficiência(\%) = \left( \frac{energia \text{ produzida}(kWh / m^3)}{6,5kWh / m^3} \right) \cdot 100$$

$$Eficiência(\%) = \left( \frac{2,0kWh / m^3}{6,5kWh / m^3} \right) \cdot 100$$

$$Eficiência(\%) = 30\%$$

A estimativa de produção de energia elétrica a partir do biogás pode ser determinada pela seguinte equação, de acordo com a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (Cetesb) (2006):

A implantação de uma usina de biogás fecha o ciclo de produção e consumo, promovendo retorno dos resíduos e efluentes orgânicos a essa cadeia produtiva, incrementando significativamente a sustentabilidade dos processos industriais. Além de promover a adequação ambiental da mesma, ampliando a produção de energia com base em fontes renováveis e a eficiência energética (FEAM, 2015).

$$E_{elétrica} = E \cdot R_{gerador} \cdot PCI_{biogás}$$

Onde:

$E_{elétrica}$  = Energia elétrica gerada por meio do biogás;

$E$  = Potencial energético do biogás;

$R_{gerador}$  = Rendimento do gerador;

$PCI_{biogás}$  = Poder calorífico inferior: 22.320 kJ/m<sup>3</sup>.

As atividades das agroindústrias de processamento de produtos de origem animal, como laticínios, suinocultura de corte são geradoras de dejetos, com elevada carga orgânica, altamente poluente, sendo responsável pela disseminação de patógenos, pela contaminação de rios, de lençóis subterrâneos e de solos, além de produzir odores desagradáveis e emitir gases de efeito estufa. No entanto, o elevado valor de matéria orgânica, que expressa a carga poluidora, reflete o potencial energético desses dejetos utilizados como matéria-prima na geração de biogás, por meio da tecnologia dos biodigestores, que, quando bem empregada, proporciona a produção de energia limpa e promove a conservação do meio ambiente (Dias et. al, 2013).

## BIOFERTILIZANTE

O biofertilizante é o efluente gerado pela biodigestão que resulta da fermentação anaeróbia da biomassa de um biodigestor, é considerado um produto final de toda reação, e não somente um subproduto de grande importância para a agricultura. Conforme Fornari (2002), o biofertilizante possui teores de nutrientes iguais e até maiores que o do material original. A fermentação anaeróbia faz com que haja menos perda de nutrientes, principalmente o N, cujo teor médio total é de 0,7%; o de P é de 0,5% e o de K, 0,7%. Seu pH (médio) é de 6,9 e a relação C/N (média) é de 11/1; isso tudo depende do material que for utilizado. Os efluentes finais chamados de biofertilizantes, resultantes do processo de fermentação anaeróbia, são usados como adubos em cultivos de culturas e pastagens. O biofertilizante é um líquido rico em matéria orgânica e pode ser usado como adubo no solo, enriquecendo-

o.

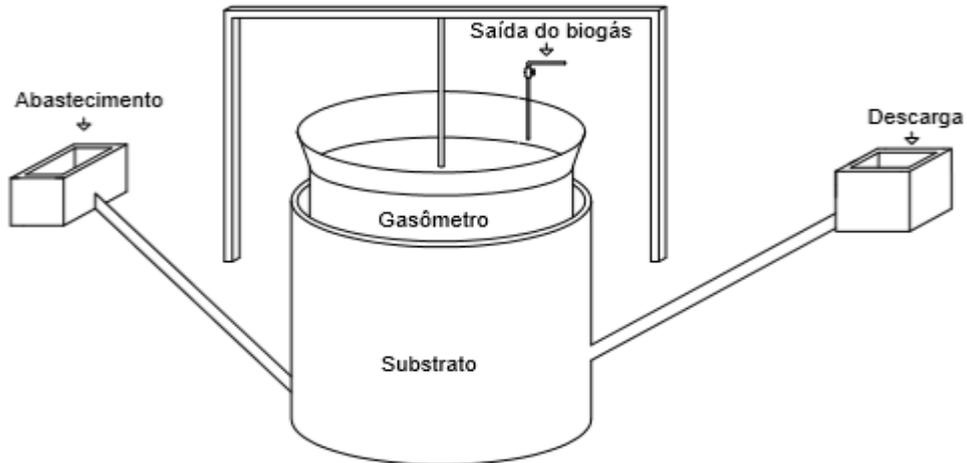
Uma das principais vantagens do uso de biofertilizantes na agricultura é o baixo custo. Estes não geram problemas quanto à acidez e degradação do solo, como ocorre com o uso de fertilizantes de origem química. Barrera (2003) comenta que o pH médio do biofertilizante é de 7,5, ou seja, levemente alcalino, fator que pode reduzir a acidez do solo e ajudar no aumento da produtividade.

Souza neto (2021) explica que na digestão anaeróbia o carbono, um dos principais constituintes da matéria orgânica, é convertido em CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub>, o que proporciona aumento de nitrogênio, fósforo e potássio no biofertilizante. Esse produto, estabilizado, difere dos produtos químicos convencionais empregados na produção agrícola, pois garante o melhoramento dos atributos físicos e químicos do solo, aprimorando o manejo e potencializando a produção de insumos (Paes et al., 2020).

O biofertilizante também é utilizado na produção orgânica, na eliminação de pragas agrícolas e como fomentador de macro e micronutrientes essenciais para o desenvolvimento vegetal (Guo et al., 2021). Possibilitando redução de custos, com a compra de insumos, e equilíbrio ambiental com a diminuição da fronteira agrícola (Janke et al., 2018). Segundo Giroto et al. (2018), a utilização do biofertilizante em solos desgastados promove o melhoramento das suas características físicas, químicas e biológicas. No entanto, segundo Perazzoli et al. (2020), quando se é verificado níveis elevados de sais no biofertilizante, e o mesmo é utilizado diretamente no solo, poderá causar impactos ambientais como, por exemplo, salinização e futuramente desertificação da área. Sendo indicado, portanto, tratamento antes da sua aplicação.

## BIODIGESTOR SERTANEJO

O biodigestor modelo sertanejo (Figura 1) contempla as mesmas particularidades do biodigestor modelo indiano.



Fonte: Adaptado de Mattos e Júnior, 2011.

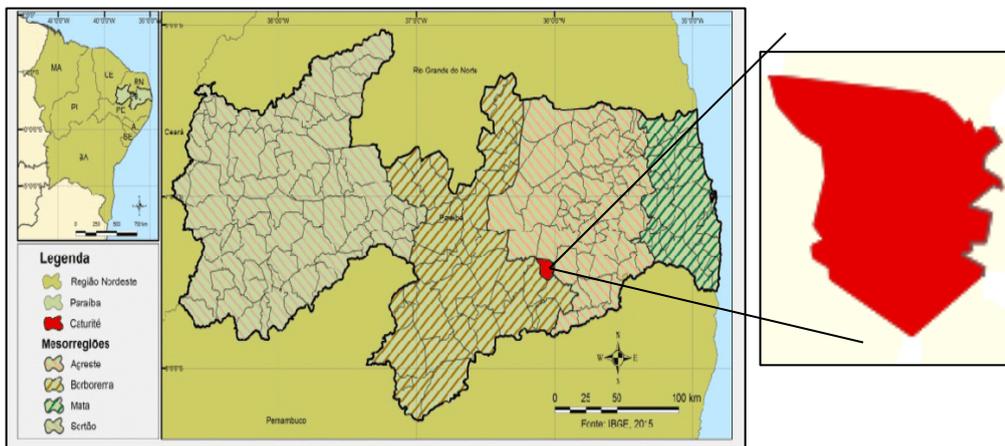
Figura 1 – Biodigestor modelo sertanejo

A diferença está nas características construtivas, substituição de material, e no valor investido, compatível com a realidade de comunidades dependentes de programas assistencialistas. Uma das principais adaptações é a utilização de placas na sua construção, tecnologia já utilizada em

carentes.

## MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida na região do cariri



cisternas e conhecida pelas famílias que vivem na região nordeste do Brasil. O biodigestor sertanejo foi construído para atender as necessidades de pequenos e médios produtores rurais, com investimento médio inferior aos demais modelos encontrados no mercado (MATOS; JÚNIOR, 2011). No entanto, são poucos os estudos específicos sobre o biodigestor sertanejo e o seu real impacto social em comunidades rurais

Fonte: Wikipédia, 2024

Figura 2 – Município de Caturité – PB

Paraibano, na zona rural do município de Caturité – PB (Figura 2), mais especificamente no Sítio Emas.

O município de Caturité está localizado na Região do Cariri Oriental do Estado da Paraíba, á 160 km da Capital. Tem uma população estimada em cerca de 4.500 habitantes, dos quais, 80% habitam a Zona Rural.

A instalação do biodigestor sertanejo (Figura 3) foi planejada após um diagnóstico e identificação das comunidades com unidade de produção de base familiar e/ou agroindustrial com vista para a transferência de tecnologias, onde as etapas para planejar o projeto da unidade potencial para a biodigestão e geração de bioenergia/biofertilizante seguiram o seguinte procedimento:

- I. Definição da fonte de biomassa;
- II. Quantificação da carga diária;
- III. Quantificação de resíduos necessários para atender a demanda de carga diária;
- IV. Quantificação da produção de energia e biofertilizantes;

Figura 3 – Biodigestor sertanejo na CAPRICOL no município de Caturité – PB

Após a capacitação teórica foi realizada a instalação da unidade piloto de biodigestão para produção de biogás e biofertilizante.

Em seguida foi analisado o aproveitamento do biogás na cogeração de energia para o funcionamento do fogão e da caldeira industrial (energia térmica) da agroindústria (laticínio) sendo feita uma adaptação no queimador da caldeira geradora



de vapor com fins na geração de energia térmica na caldeira de uso naquele empreendimento agroindustrial.

Também foi examinado o uso do biogás em um motor de irrigação (energia elétrica) à combustão de gasolina realizando adaptação em seu carburador.

Fonte: Próprio autor, 2024

- V. Benefício de uso do biogás e biofertilizantes;
- VI. Fonte de energia utilizada.

Em seguida foi feita uma sensibilização com os agricultores cooperados da agroindústria para o aproveitamento da biomassa na unidade produtiva com foco na importância ambiental e socioeconômica. Logo após realizou-se a capacitação dos produtores para a construção do biodigestor e operação do sistema de biodigestão e compressão, bem como utilização do biogás e biofertilizante através de uma cartilha elaborada com orientações para construção de um biodigestor modelo sertanejo e transferida a tecnologia aos produtores rurais.

O biofertilizante produzido no biodigestor ao sair pronto para uso, foi aplicado diretamente nas culturas utilizadas pelo produtor para o manejo agrícola e no cultivo caracterizado como orgânico.

A partir do aproveitamento energético, foram estruturadas metodologias adaptadas a aplicação de

tecnologias de biodigestão para o aproveitamento de resíduos orgânicos disponíveis para geração de bioenergia, objetivando, com isso, promover mecanismos de implementação tecnológica para reduzir custos com energia elétrica e/ou térmica, promovendo a inovação em empreendimentos agroindustriais da agricultura familiar.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através de uma análise detalhada nos parâmetros qualitativos e quantitativos mensurados pelo diagnóstico, conforme descrição abaixo, realizado nas comunidades rurais e embasado nas visitas técnicas, o projeto da unidade de biodigestão e geração de bioenergia/biofertilizante foi implantado no município Caturité-PB, na comunidade rural do Sítio Emas, na agroindústria (laticínio) da Cooperativa CAPRICOL – Cooperativa de Produtores de Caprinos e Ovinos do Cariri Oriental LTDA pelas melhores condições, maior abrangência de agricultores/produtores e maior viabilidade.

Proprietário/responsável: [Emetério Duarte da Costa](#)

Contato: [\(83\) 98675-9822](#)

Famílias beneficiadas: [26 famílias](#)

Benefício de uso do biogás e biofertilizante: [Doméstico e Agroindustrial](#)

Fonte de energia utilizada: [Madeira e elétrica](#)

Capacidade de produção do biodigestor:

I. Definição da fonte de biomassa: [300 Bovinos](#)

II. Quantificação da carga diária: [600kg/dia](#)

III. Quantificação de resíduos necessários para atender a demanda de carga diária: [300Kg/dia](#)

IV. Quantificação da produção de energia e biofertilizantes: [78 botijões/mês - 500Kg/dia](#)

A agroindústria CAPRICOL, de acordo com o relato dos responsáveis e cooperados, utilizava 10 botijões de gás GLP (13kg) e 50m<sup>3</sup> de madeira da caatinga por mês na produção, proporcionando maiores gastos no processo produtivo, menos lucro aos cooperados e geração de gases poluentes para a atmosfera. Contudo, graças a parcerias com Universidade Federal de Campina Grande e ao Parque Tecnológico da Paraíba, a agroindústria CAPRICOL foi umas das pioneiras, no estado da Paraíba, a utilizar energia renovável, térmica e elétrica, em todo o processo produtivo.

Diante do exposto o biodigestor sertanejo surgiu como uma das alternativas para a agroindústria CAPRICOL devido a sua necessidade eminente de redução de custos, associado à disponibilidade em grande quantidade de matéria orgânica de origem bovina, na própria comunidade rural, onde os estudos de viabilidade de implantação do biodigestor na agroindústria, para a geração de energia térmica se mostraram satisfatórios.

A partir da escolha do empreendimento a ser beneficiado deu-se início a sensibilização dos agricultores aos usos e benefícios trazidos pela tecnologia do biodigestor na geração energia térmica/elétrica e na produção de biofertilizantes, conforme figura 4 (A e B), mostrando a eficiência do biogás, seus usos e benefícios, e também a finalidade dos biofertilizantes que são produzidos em paralelo ao biogás, e que tem aplicabilidade na agricultura orgânica.



Fonte: Próprio autor, 2024

Figura 4 – Sensibilização dos produtores no município de Caturité – PB (A e B)

Após reunião de sensibilização, foi discutida uma data para a capacitação referente à capacitação dos produtores para a construção do biodigestor e operação do sistema de biodigestão e compressão, bem como utilização do biogás e biofertilizante através de uma cartilha (ANEXO A) elaborada com orientações para construção de um biodigestor modelo sertanejo e transferida a tecnologia aos produtores.

No dia 25 de julho de 2024 iniciou-se a construção de dois biodigestores de modelo sertanejo com volume da campânula de 5m<sup>3</sup>, na Cooperativa de Produtores de Caprinos e Ovinos do Cariri Oriental LTDA - CAPRICOL, localizada no município de Caturité-PB. Com o objetivo de realizar a

capacitação não apenas teórica, mas, sobretudo, vivenciando a prática, a capacitação foi realizada concomitantemente à construção. Fizeram-se presentes os membros da CAPRICOL e os responsáveis pela construção dos biodigestores durante toda a fase construtiva, cerca de 80h. Durante esse período foi realizado a capacitação para a construção, operação e utilização do biodigestor.

Antes de dar início à construção do biodigestor foi realizada a capacitação teórica, através da qual abordou-se os aspectos construtivos do biodigestor, manejo e manutenção. Também foram entregues cartilhas, em que constava, de forma simplificada, os assuntos abordados (Figura 5).



Fonte: Próprio autor, 2024

Figura 5 – Capacitação teórica (A e B) e entrega da cartilha (C)

O conteúdo ministrado na capacitação iniciou-se com a definição de biodigestor, tecnologia está utilizada para acelerar o processo de decomposição da matéria orgânica em meio anaeróbio, na ausência de oxigênio. Esse processo é denominado biodigestão, que produz de forma eficaz o biogás e o biofertilizante. O biogás é um biocombustível muito utilizado na geração de energia térmica, substituindo o tradicional gás de cozinha, também utilizado para funcionamento de motores e geração de energia elétrica; o biofertilizante, por sua vez, é um adubo orgânico líquido utilizado como fonte de nutrientes para as plantas, considerado um subproduto do sistema de biodigestão, contribui para aumento da produtividade das culturas e pode ser produzido sem custo dentro da propriedade rural, o que torna esta

tecnologia bastante vantajosa para propriedades rurais.

Alguns aspectos decisivos devem ser considerados antes da construção do biodigestor, tais como:

- Escolha do local;
- Tipo de biodigestor (estudo de viabilidade);
- Logística de alimentação;
- Conhecer eficiência energética de cada insumo

(produção de biogás).

Tendo conhecimento desses pontos, foram repassadas as informações sobre os cuidados do manejo correto antes e durante o funcionamento do biodigestor.

A construção do biodigestor se dividiu em etapas:

### Etapa 01: Escolha do local e levantamento dos materiais de construção (Tabela 1).

Tabela 1: Itens necessários para construção de cada biodigestor

Item	Especificação	Unid.	Quant.
01	Cimento com 50 Kg	Saco	28
02	Areia	m <sup>3</sup>	06
03	Cascalhinho	m <sup>3</sup>	1,5
04	Sika 1 emb. Com 3,6lts.	Lata	05
05	Cola branca	l	05
06	Malha Pop Reforçada para Concreto, (4,2 mm, 15x15, 2 x 3 metros)	Peça	01
07	Ferro liso 12 mm - Galvanizado	Kg	10
08	Tubo PVC de 100 mm (Entrada)	Tb	01
09	Tubo PVC de 150 mm (saída)	Tb.	01
10	Tubo PVC de 20 mm soldável	Tb.	08
11	Cap Tampão 100 mm esgoto (Selo de água)	Und.	02
12	Tubo PVC marrom 50 mm (guia do eixo)	Tb	01
13	Tubo Galvanizado 40 mm (Eixo)	Tb	01
14	Joelho de 20 mm	Und.	06

15	União soldável PVC 20 mm, marrom	Und	04
16	Registro de Esfera PVC rosqueável de 1/2 Polegada	Und.	03
17	Adaptador Soldável Com Flange Para Caixa D'água 20mm x 1/2	Und.	02
18	Abraçadeira Galvanizada Tipo U 4" - 100 mm	Und.	02
19	Mangueira de Gás, Lona Preta 300 Psi 5/16	Mt.	6,0
20	Abraçadeira Para Tubo Soldável 20 mm Marrom	Und.	06
21	Abraçadeira Rosca 13 - 19 P/mangueira de Gás	Und.	02
22	Bucha de Redução Soldável Longa 50x20	Und.	01
23	Adaptador Interno com Redução e Roscas Externa 20mmx5/16 (espigão)	Und.	02
24	Arame recozido 18	Kg	01
25	Linha 3 x 4", com 3 metros – Superior	Mt.	03
26	Linha 3 x 4", com 2,50 metros – Lateral	Mt.	10
27	Parafuso Francês 5/16 X 10" Zincado com Porca	Und.	08
28	Corda Trançada Fio 6mm de Polipropileno rolo com 15mts.	Rolo	01
29	Tijolo de 8 furos	Und.	200
30	Caixa para Biodigestor 5.000 Litros (verde)	Und.	01

**Etapa 02:** Realizou-se um traço de 3 x 2 x 1 (areia, cascalho e cimento), para a construção das placas com dimensão de 40 x 47,5 cm, sendo necessário a confecção de aproximadamente 64 placas por biodigestor (Figura 6).



Fonte: Próprio autor, 2024

Figura 6 – Placas prontas para instalação

**Etapa 03:** Identificação do local a ser escavado com altura de 2,7m e 4,0m de largura, para posteriormente construir a base nivelada e construção em alvenaria (Figura 7).



Fonte: Próprio autor, 2024

Figura 7 – Registro do tração utilizado para nivelamento da base (A), buraco perfurado (B) e início da aplicação das placas fase inicial da construção dos biodigestores (C e D)

**Etapa 04:** Instalação dos tubos de entrada (alimentação) e os tubos de saída (biofertilizante), junto ao cano guia e laterais de madeira. Neste projeto foi utilizada uma vara de cano para cada caixa de entrada e saída dos biodigestores construídos, como visto na figura 8 (A, B, C, D, E, F, G, H e I).





Fonte: Próprio autor, 2024

Figura 8 – Registro do tubo saída e construção da caixa saída (A e B) e entrada (C), instalação e alinhamento do tubo guia (D, E e F), construção dos guias externo em madeira (G) e fixação em campo (H e I)

**Etapa 05:** Instalação da campânula, fase de fácil compreensão, porém necessário um número maior de pessoas para instalação com segurança (Figura 9).



Fonte: Próprio autor, 2024

Figura 9 – Instalação da campânula do biodigestor (A, B, C e D)

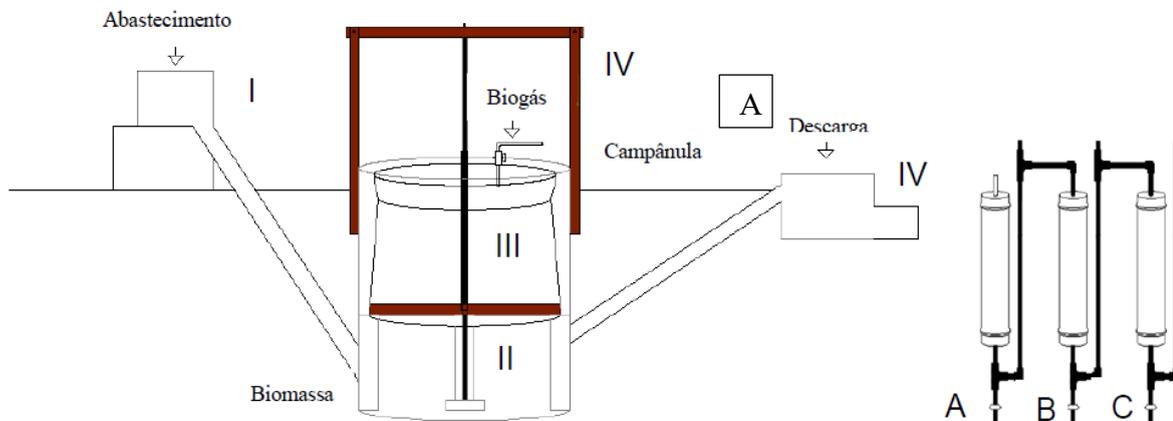
**Etapa 06:** Construção e instalação dos filtros e drenos, filtros confeccionados no próprio estabelecimento e posterior instalação. Os materiais utilizados para confecção dos filtros é cano PVC, CAP e conectores (Figura 10).



Figura 10 – Imagens da construção dos filtros (A e B)

Assim, na comunidade foram implantados 2 (dois) módulos de biodigestor sertanejo com um volume de  $15,4\text{m}^3$ , o qual necessita de uma carga diária de  $0,88\text{m}^3$  de biomassa (JUNIOR, 2017) para que seja gerado em cada um, segundo Pinas et al. (2018), o equivalente energético a 7,3 botijões de gás de cozinha por mês utilizando como matéria prima o esterco bovino. Produção essa que perfaz uma economia de mais de 50% com a compra do gás GLP e de madeira para o empreendimento.

Cada biodigestor implantado na agroindústria, com  $15,4\text{m}^3$  de volume foi alimentado com esterco bovino de 300 animais oriundo das propriedades pertencentes aos membros da CAPRICOL que administram a agroindústria. O biodigestor sertanejo (Figura 11A) possui: caixa de carga de  $0,25\text{m}^3$  (I), câmara de fermentação com volume de  $15,4\text{m}^3$  (II), campânula de  $5\text{m}^3$  (III), corta chama (IV), caixa de descarga de  $0,38\text{m}^3$  (V) e um sistema de purificação de biogás (Figura 11B - A, B e C).



Fonte: SOUZA NETO, 2021

Figura 11 – Corte longitudinal do biodigestor sertanejo implantado na agroindústria (Figura 11A) e sistema de purificação do biogás (Figura 11B - A, B e C). A) Hidróxido de sódio; B) Filtro de  $\text{H}_2\text{S}$ ; C) Coluna de água.

O sistema de purificação do biogás (Figura 11B), adaptado da literatura, tem como objetivo retirar do composto gasoso produzido durante o experimento, gases indesejáveis como a  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  e  $\text{CO}_2$ . Elevando o poder calorífico do biogás e limitando a formação de subprodutos com a futura combustão do metano como, por exemplo: óxidos de enxofre ( $\text{SO}_x$ ) (González-Cortés et al., 2021). Os filtros foram construídos

com material reciclado, tubos de PVC, registros e adaptadores de volume.

Seguindo as recomendações de Lindkvist e Karlsson (2018), no primeiro filtro (A) foi introduzido hidróxido de sódio ( $\text{NaOH}$ ) com o objetivo de retirar parte do dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ); o segundo (B) foi preenchido com palha de aço, material esse que reage com o gás sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ )

*INTESA – Informativo Técnico do Semiárido ISSN 2317 - 305X Pombal, Paraíba, Brasil v.18, n. 1, p. 45-66, jan-jun, 2024.*

presente em menor proporção no biogás; e no terceiro filtro (C) contém água proveniente do sistema de tratamento de águas residuais da agroindústria, e que tem por finalidade retirar outros gases presentes na mistura gasosa além de servir como um corta chamas, caso aja refluxo de chama da caldeira e/ou

do fogão. Devido à distância que o biodigestor se encontra da agroindústria, aproximadamente 38 metros de distância, foi instalado um compressor para que o volume de gás que chega à caldeira e fogão permaneça constante e em quantidade ideal, 110 Lbf/in<sup>2</sup>, conforme figura 12.



Fonte: Próprio autor, 2024

Figura 12 – Compressor de armazenamento de biogás

Avaliou-se a utilização do biogás para cogeração de energia térmica e elétrica com fins domésticos e/ou nos empreendimentos agroindustriais;

O processo de geração de biogás foi constituído principalmente por duas partes: a parte de digestão anaeróbica, onde se deu a efetiva produção de biogás (constituída por 2 biodigestores) e a parte de transformação do biogás em energia, ou seja, a parte de cogeração de energia. Essa cogeração de energia varia de acordo com a matéria prima utilizada no processo (efluentes zootécnicos, lodo de tratamento de águas residuais, resíduos agroindustriais e resíduos de culturas),

tendo um rendimento energético maior ou menor em termos de biogás produzido e, portanto, de energia elétrica e térmica gerada.

Na prática observou-se a utilização do biogás no fogão residencial (energia térmica) conforme figura 13 (A, B e C), na caldeira da agroindústria (Figura 14 – A e B) e no funcionamento de um motor bomba para irrigação (energia elétrica) (Figura 15 – A, B e C), como observado nas imagens a seguir:



A



B



C

Fonte: Próprio autor, 2024

Figura 13 – Fogão residencial (energia térmica) (A e B)

Fonte: Próprio autor, 2024



Figura 14 – Caldeira com queimador de biogás (A e B)



Fonte: Próprio autor, 2024

Figura 15 – Utilização do biogás no funcionamento de motor (A, B e C)

Para o funcionamento do motor bomba de irrigação a gasolina de 5,5HP, foi feita uma adaptação no carburador.

Sendo inserido um cano de cobre com 50cm de comprimento e 3/16" de diâmetro medida externa, na entrada da tubulação do gás metano, colocamos uma torneira de passagem para controlar o fluxo do gás, na entrada do tubo no carburador, furamos com uma broca de 3/16, entre o cilindro de aceleração e o afogador do carburador, para facilitar as misturas do gás metano e o oxigênio.

A utilização do biofertilizante gerado no processo de biodigestão foi testado para o manejo agrícola e o cultivo caracterizado como orgânico.

O biofertilizante é um adubo orgânico líquido e sólido (seco) utilizado para complementar a adubação de fertilizantes sólidos, subproduto do biodigestor, pode ser aplicado via pulverizações nas folhas ou junto com a água de irrigação (fertirrigação), proporcionando às plantas, uma resposta mais rápida que os fertilizantes sólidos. Ele possui alta concentração de nitrogênio e baixa concentração de carbono devido à liberação de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>, não produz mau cheiro se for manejado corretamente. Recomenda-se a diluição do produto com água, na concentração de 1:10 (água/biofertilizante), sendo sugerido também em 2% para mudas e 5% para plantas no campo.



animais que geram



## CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos podemos concluir que de forma geral, os aspectos que foram levantados, analisados e acompanhados, permitem afirmar a total importância e a necessidade da existência de um tratamento adequado aos dejetos da agricultura, nas pequenas e grandes propriedades rurais.

O biodigestor representa uma excelente alternativa tecnológica para o tratamento de resíduos (dejetos) gerados, já que estes são de responsabilidade do produtor, o qual deve fornecer um destino adequado a eles; e, também, uma maior percepção da problemática ambiental causada pelas atividades rurais, das dificuldades da implantação de melhorias, tudo isso em busca da sustentabilidade e proteção ao meio ambiente. Assim, trará ganhos relevantes para a propriedade rural e seus moradores, geração de energia limpa, renovável e também ganhos ambientais.

Percebe-se a importância do uso racional dos recursos naturais para que estes sejam inesgotáveis, e que a degradação ambiental é um problema causado pelo ser humano e necessita de soluções. A tecnologia de biodigestão com a produção de biogás e biofertilizantes é uma alternativa viável ao

proprietário rural, o que traz inúmeros benefícios socioeconômicos e também contribui com a redução dos impactos ambientais causados pelas atividades rurais.

A inserção de matéria orgânica com uma maior quantidade de nitrogênio visa um melhor rendimento de biogás, a partir de uma metodologia já validada. Assim, as tecnologias obtidas através dessas pesquisas poderão ser transferidas para os produtores inseridos na cadeia produtiva da bovinocultura e da suinocultura, melhorando o custo benefício no funcionamento dos empreendimentos agroindustriais e reduzindo custos na produção.

Logo, o biodigestor sertanejo implantado na agroindústria mostrou-se eficiente ao ser submetido ao tipo de diluição 1:1, recomendado pela literatura quando utilizado o esterco bovino, não apresentando problemas técnicos. Vale salientar, também, a contribuição ambiental com a utilização de volume reduzido de água no processo de diluição da biomassa, comparada a primeira fase e aumento do volume de biomassa tratada em uma mesma unidade de área. Tornando o biodigestor sertanejo, um case de sucesso local e que pode ser implantado em várias regiões do Brasil e do Mundo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

*INTESA – Informativo Técnico do Semiárido ISSN 2317 - 305X Pombal, Paraíba, Brasil v.18, n. 1, p. 45-66, jan–jun, 2024.*

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. 2008. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/>>. Acesso em: 22 set. 2024.

ARRUDA, Mariliz H. et al. Dimensionamento de Biodigestor para Geração de Energia Alternativa. Revista científica eletrônica de agronomia, Garças: Ed. da FAEF, ano 1, n. 2, dez. 2002. Semestral. Disponível em: <<http://www.revista.inf.br/agro02/notas/notatecnica01.pdf>>. Acesso em: 29 jul. 2023.

BARBOSA, G.; LANGER, M. Uso de biodigestores em propriedades rurais: uma alternativa à sustentabilidade ambiental. Unoesc & Ciência – ACSA, Joaçaba, v. 2, n. 1, p. 87-96, jan./jun. 2011.

BARRERA, Paulo. Biodigestores: energia, fertilidade e saneamento para zona rural. São Paulo: Ícone, 2003. 106 p.

BARRERA, Paulo. **Biodigestores**: energia, fertilidade e saneamento para zona rural. São Paulo: Ícone, 2003. 106 p.

BLÁZQUEZ, C. S.; BORGE-DIEZ, D.; NIETO, I. M.; MARTIN, A. F.; GONZALÉZ-AGUILERA, D. Multi-parametric evaluation of electrical, biogas and natural gas geothermal source heat pumps. **Renewable Energy**, v. 163, p. 1682-1691, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.10.080>

BRÉMOND, U.; BERTRANDIAS, A.; STEYER, J.; BERNET, N.; CARRENE, H. A vision of European biogas sector development towards 2030: Trends and challenges. **Journal of Cleaner Production**, p. 125065, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125065>

CAZARRÉ, Marcus. **Os dejetos de suínos no Oeste Catarinense**. 2008. Disponível em: <<http://www.hwshost.com.br/Wsk24/Artigos/artigo10.pdf>>. Acesso em: 25 set. 2024.

DAWANGPA, A.; LERTWATCHARASARAKUL, P.; RAMASOOTA, P.; BOONSOONGNERN, A.; RATANAVANICHROJN, N.; SANGUAKIAT, A.; PHATTHANAKUNANAN, S.; TULAYAKUL, P. Genotypic and phenotypic situation of antimicrobial drug resistance of *Escherichia coli* in water and manure between biogas and non-biogas swine farms in central Thailand. **Journal of Environmental Management**, v. 279, p. 111659, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111659>

DIAS, M. I. A.; COLEN, F.; FERNANDES, L. A.; SOUZA, R. M; BUENO, O. C. Viabilidade econômica do uso do biogás proveniente da Suinocultura, em substituição a fontes externas de Energia. Energia na Agricultura, Botucatu, v. 28, n.3, p.155-164, 2013.

FEROLDI, M.; CAROLINE, A.; BORBA, N. C. E.; ARANTES, M. K.; JOSE, A. H. Storage of purified biogas (biomethane) at low pressure. **Braz. arch. biol. technol.**, Curitiba, v. 61, n. spe, e18000014, 2018 . <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4324-smart-2018000014>

GARDONI, R. A. P.; AZEVEDO, M. A. Estudo da biodegradação de carcaças de aves por meio do processo de compostagem em biodigestores fechados descontínuos. **Revista Engenharia Sanitária**, v. 24, n. 3, p. 425-429, 2019. <https://doi.org/10.1590/s1413-41522019118916>

GARDONI, R. A. P.; AZEVEDO, M. A. Estudo da biodegradação de carcaças de aves por meio do processo de compostagem em biodigestores fechados descontínuos. **Revista Engenharia Sanitária**, v. 24, n. 3, p. 425-429, 2019. <https://doi.org/10.1590/s1413-41522019118916>

GIANNOUKOS, S.; TARIK, M.; LUDWING, C.; BIOLLAZ, J. S.; BALTENSPERGER, U.; PREVOT, A. S. H. Detection of trace metals in biogas using extractive electrospray ionization high-resolution mass spectrometry. **Renewable Energy**, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.01.047>

GIROTTO, F.; PENG, W.; RAFIEENIA, R.; COSSU, R. Effect of aeration applied during different phases of anaerobic digestion. **Waste and Biomass Valorization**, 2018, 9.2: 161-174. <https://doi.org/10.1007/s12649-016-9785-9>

GONZÁLEZ-CORTÉS, J. J.; TORRES-HERRERA, S.; ALMENGLO, F.; RAMÍREZ, M.; CANTERO, D. Anoxic biogas biodesulfurization promoting elemental sulfur production in a Continuous Stirred Tank Bioreactor. **Journal of Hazardous Materials**, v. 401, p. 123785, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123785>

GUO, X.; CUI, X.; LI, H.; XIONG, B. Purifying effect of biochar-zeolite constructed wetlands on arsenic-containing biogas slurry in large-scale pig farms. **Journal of Cleaner Production**, v. 279, p. 123579, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123579>

HASSANEEN, F. Y.; ABDALLAH, M. S.; AHMED, N.; TAHA, M. M.; ELAZIZ, S. M. M. A.; EL-MOKHTAR, M. A.; BADARY, M. S.; ALLAM, N. K. Innovative nanocomposite formulations for enhancing biogas and biofertilizers production from anaerobic digestion of organic waste. **Bioresource Technology**, v. 309, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123350>

HUANG, X.; LIU, X.; CHEN, F.; WANG, Y.; LI, X.; WANG, D.; TAO, Z.; XU, D.; XUE, W.; GENG, M.; YANG, Q. Clarithromycin affect methane production from anaerobic digestion of waste activated sludge. **Journal of Cleaner Production**, v. 255, p. 120321, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120321>

- JACOB, S.; BANERJEE, R. Modeling and optimization of anaerobic codigestion of potato waste and aquatic weed by response surface methodology and artificial neural network coupled genetic algorithm. *Bioresource Technology*, v 214, p. 386-395, 2016.
- JANKE, L.; WEINRICH, S.; LEITE, A. F.; STRAUBER, H.; RADETSKI, C. M.; NIKOLAUSZ, M.; NELLES, M.; STINNER, W. Year-round biogas production in sugarcane biorefineries: Process stability, optimization and performance of a two-stage reactor system. *Energy Conversion and Management*, v. 168, p. 188-199, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.04.101>
- KUNZ, A.; PERDOMO, C. C.; OLIVEIRA, P. A. V. **Biodigestores: avanços e retrocessos**. 2004. Disponível em: <<http://www.cnpsa.embrapa.br/artigos/2004>>. Acesso em: 24 set. 2024.
- LEMMA, B.; ARARSO, K.; EVANGELISTA, P. H. Attitude towards biogas technology, use and prospects for greenhouse gas emission reduction in southern Ethiopia. *Journal of Cleaner Production*, v. 283, p. 124608, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124608>
- LEUNG, D. Y. C.; WU, X.; LEUNG, M. K. H. A review on biodiesel production using catalyzed transesterification. *Applied Energy* v.87, p. 1083–1095, 2010.
- LI, L.; GENG, S.; LI, Z.; SONG, K. Effect of microplastic on anaerobic digestion of wasted activated sludge. *Chemosphere*, v. 247, p. 125874, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.125874>
- MANCINI, F. N.; MILANO, J.; ARAUJO, J. G.; IASTRENSKI, K. T.; SILVEIRA, N. S.; PERTILE, R. C. Energy Potential of Animal Waste in the State of Paraná (Brazil). *Braz. arch. biol. technol.*, Curitiba, v. 62, n. spe, e19190009, 2019. <https://doi.org/10.1590/1678-4324-smart-2019190009>
- MISROL, M. A.; ALWI, S. R. W.; LIM, J. S.; MANAN, Z. A. An optimal resource recovery of biogas, water regeneration, and reuse network integrating domestic and industrial sources. *Journal of Cleaner Production*, v. 286, p. 125372, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125372>
- MIYAWAKI, B.; MARIANO, A. B.; VARGAS, J. V. C.; BALMANT, W.; DEFRANCHESCHI, A. C.; CORRÊA, D. O.; SANTOS, B.; SELESU, N. F. H.; ORDONEZ, J. C.; KAVA, V. M. Microalgae derived biomass and bioenergy production enhancement through biogas purification and wastewater treatment. *Renewable Energy*, v. 163, p. 1153-1165, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.09.045>
- MORETTI, S. M. L.; BERTONCINI, E. I.; ABREU-JUNIOR, C. H. Characterization of raw swine waste and effluents treated anaerobically: parameters for Brazilian environmental regulation construction aiming agricultural use. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, p. 1-12, 2020. <https://doi.org/10.1007/s10163-020-01115-1>
- MUKESHIMANA, M. C.; ZHAO, Z.; AHMAD, M.; IRFAN, M. Analysis on barriers to biogas dissemination in Rwanda: AHP approach. *Renewable Energy*, v. 163, p. 1127-1137, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.09.051>
- NIERYCHLO, M.; ANDERSEN, K. S.; XU, Y.; GREEN, N.; JIANG, C.; ALBERTSEN, M.; DUEHOLM, M. S.; NIELSEN, P. H. MiDAS 3: An ecosystem-specific reference database, taxonomy and knowledge platform for activated sludge and anaerobic digesters reveals species-level microbiome composition of activated sludge. *Water Research*, v. 182, p. 115955, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115955>
- NINDHIA, T. G. T.; MCDONALD, M.; STYLES, D. Greenhouse gas mitigation and rural electricity generation by a novel two-stroke biogas engine. *Journal of Cleaner Production*, v. 280, p. 124473, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124473>
- OLIVEIRA P. (Coord.). Manual de manejo e utilização de dejetos de suínos. Documentos, Concórdia: Embrapa; CNPSA, n. 27, 2008.
- ORRICO JUNIOR, M. A. P. Biodigestão anaeróbica dos dejetos de suínos e bovinos e utilização do biofertilizante no capim piatã. 2011. 99f. Tese. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Jaboticabal-SP.
- PAES, J. L.; ALVES, T. B. S.; SILVA, L. D. B.; MARQUES, A. S.; DIAS, V. R. S. USE OF INOCULUM IN BIODIGESTERS WITH CATTLE MANURE UNDER CONVENTIONAL AND ORGANIC PRODUCTION SYSTEMS. *Eng. Agríc.*, Jaboticabal, v. 40, n. 2, p. 146-153, abr. 2020. <https://doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v40n2p146-153/2020>
- PANYAPING, K.; MOONTEE, P. Potential of biogas production from mixed leaf and food waste in anaerobic reactors. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, v. 20, p. 723-737, 2017. <http://dx.doi.org/10.1007/s10163-017-0629-x>
- PERAZZOLI, B. E.; PAULETTI, V.; QUARTIERI, M.; TOSELLI, M.; GOTZ, L. F. Changes in leaf nutrient content and quality of pear fruits by biofertilizer application in northeastern Italy. *Rev. Bras. Frutic.*, Jaboticabal, v. 42, n. 1, e-530, 2020. <https://doi.org/10.1590/0100-29452020530>
- PRABHU, A. V.; AVINASH, A.; BRINDHADEVI, K.; PUGAZHENDHI, A. Performance and emission evaluation of dual fuel CI engine using preheated biogas-air mixture. *Science of the Total Environment*, p. 142389, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142389>

- RATTANAPHAN, S.; RUNGROTMONGKOL, T.; KONGSUNE, P. Biogas improving by adsorption of CO<sub>2</sub> on modified waste tea activated carbon. **Renewable Energy**, v. 145, p. 622-631, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.05.104>.
- RICARDO, C. M.; CAMPOS, D. B.; MARIN, D. B.; VELOSO, A. V.; MATTIOLIN, M. C. AVALIAÇÃO ECONÔMICA DE UM SISTEMA DE TRAMENTO DE RESÍDUOS DA SUINOCULTURA CONTENDO BIODIGESTORES TUBULARES. **Revista Engenharia na Agricultura**, 2018, 26.6: 516. <https://doi.org/10.13083/reveng.v26i6.799>
- SEIFFERT, Mari Elizabete Bernardini. **Gestão ambiental: instrumentos, esferas de ação e educação ambiental**. 1. ed. 2. reimpr. São Paulo: Atlas, 2009.
- STÜRMER, B.; LEIERS, D.; ANSPACH, V.; BRUGGING, E.; SCHARFY, D.; WISSEL, T. Agricultural biogas production: A regional comparison of technical parameters. **Renewable Energy**, v. 164, p. 171-182, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.09.074>
- STÜRMER, B.; LEIERS, D.; ANSPACH, V.; BRUGGING, E.; SCHARFY, D.; WISSEL, T. Agricultural biogas production: A regional comparison of technical parameters. **Renewable Energy**, v. 164, p. 171-182, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.09.074>
- SUNADA, N. S. ORRICO, A. C. A.; JUNIOR, M. A. P. O.; JUNIOR, J. L.; LOPES, W. R. T.; SCHWINGEL, A. W. Anaerobic co-digestion of animal manure at different waste cooking oil concentrations. **Cienc. Rural**, Santa Maria, v. 48, n. 7, e20170517, 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20170517>
- TAJMIRIAHI, M.; MOMAYEZ, F.; KARIMI, K. The critical impact of rice straw extractives on biogas and bioethanol production. **Bioresource Technology**, v. 319, p. 124167, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124167>
- VINZELJ, J.; JOSHI, A.; INSAM, H.; PODMIRSEG, S. M. Employing anaerobic fungi in biogas production: Challenges & opportunities. **Bioresource technology**, v. 300, p. 122687, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122687>
- WANG, R.; LI, C.; LV, N.; PAN, X.; CAI, G.; NING, J.; ZHU, G. Deeper insights into effect of activated carbon and nano-zero-valent iron addition on acidogenesis and whole anaerobic digestion. **Bioresource Technology**, v. 324, p. 124671, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.124671>
- WANG, Y.; WEHRLE, L.; BANERJEE, A.; SHI, Y.; DEUTSCHMANN, O. Analysis of a biogas-fed SOFC CHP system based on multi-scale hierarchical modeling. **Renewable Energy**, v. 163, p. 78-87, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.08.091>
- YANG, S.; CHEN, Z.; WEN, Q. Impacts of biochar on anaerobic digestion of swine manure: Methanogenesis and antibiotic resistance genes dissemination. **Bioresource Technology**, v. 324, p. 124679, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.124679>
- ZANANDRÉA, Valmir. Análise do uso da tecnologia de biodigestores para fins energéticos em propriedades rurais. 2010. Trabalho de Conclusão de Curso—Universidade de Dois Vizinhos, 2010.
- ZHANG, Y.; KAWASAKI, Y.; OSHITA, K.; TAKAOKA, M.; MINAMI, D.; INOUE, G.; TANAKA, T. Economic assessment of biogas purification systems for removal of both H<sub>2</sub>S and siloxane from biogas. **Renewable Energy**, v. 168, p. 119-130, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.12.058>
- ZHANG, Y.; ZHENG, Y.; ZHU, Z.; CHEN, Y.; DONG, H. Dispersion of Antibiotic Resistance Genes (ARGs) from stored swine manure biogas digestate to the atmosphere. **Science of The Total Environment**, v. 761, p. 144108, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144108>
- MATTOS, L. C.; JÚNIOR, M. F. **Manual do biodigestor sertanejo**. Recife: Projeto Dom Helder Camara, 2011. 55p.: il. <http://cumaru-pe.com.br/data/documents/Manual-do-Biodigestor-Sertanejo-1.pdf>
- JÚNIOR, F. A. O. Manual de construção do biodigestor rural. 2017. <https://www.agriverdes.com.br/biblioteca/wp-content/uploads/2019/06/manual-do-biodigestor-rural.pdf>
- PIÑAS, J. A. V.; VENTURINI, O. J.; LORA, E. E. S.; ROALCABA, O. D. C. Technical assessment of mono-digestion and co-digestion systems for the production of biogas from anaerobic digestion in Brazil. **Renewable Energy**, v. 117, p. 447-458, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.10.085>
- SOUZA NETO, J. J.; Biogás: vetor energético em uma agroindústria na cidade de Pombal-PB, Dissertação (Mestrado) - UFPB/CEAR, João Pessoa, 56 f., 2021.
- LINDKVIST, E.; KARLSSON, M. Biogas production plants; existing classifications and proposed categories. *Journal of Cleaner Production*, 2018, 174: 1588-1597. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.317>