



**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO (PROPPG) MESTRADO  
ACADÊMICO EM SOCIOBIODIVERSIDADE E TECNOLOGIAS SUSTENTÁVEIS  
(MASTS)**

**DEYK ANNE CALIXTO PAZ**

**FILTROS COMBINADOS: A EFICIÊNCIA DOS FILTROS NO TRATAMENTO DE BIOGÁS**

**REDENÇÃO, CEARÁ, BRASIL 2021**

## FILTROS COMBINADOS: A EFICIÊNCIA DOS FILTROS NO TRATAMENTO DE BIOGÁS

Dissertação apresentada ao Mestrado Acadêmico em Sociobiodiversidade e Tecnologias Sustentáveis (MASTS) da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro- Brasileira - UNILAB, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Sociobiodiversidade e Tecnologias Sustentáveis, com a linha de pesquisa em Tecnologias e Desenvolvimento Sustentável.

Orientador: Prof. Dr. Juan Carlos Alvarado Alcócer.

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira  
Sistema de Bibliotecas da UNILAB  
Catalogação de Publicação na Fonte.

---

Paz, Deyk Anne Calixto.

P348f

Filtros combinados: a eficiência dos filtros no tratamento de biogás / Deyk Anne Calixto Paz. - Redenção, 2022.  
54f: il.

Dissertação - Curso de Sociobiodiversidade e Tecnologias Sustentáveis, Mestrado Acadêmico em Sociobiodiversidade e Tecnologias Sustentáveis, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Redenção, 2022.

Orientador: Prof. Dr. Juan Carlos Alvarado Alcócer.  
Coorientador: Prof<sup>a</sup>: Dra. Olienaide Ribeiro de Oliveira Pinto.  
Coorientador: Prof.: Dr. John Hebert da Silva Felix.

1. Biodigestores. 2. Filtragem do biogás. 3. Material reciclável. I. Pinto, Prof<sup>a</sup>. Dra. Olienaide Ribeiro de Oliveira. II. Felix, Prof. Dr. John Hebert da Silva. III. Título.

CE/UF/BSCA CDD 665.776

---

DEYK ANNE CALIXTO PAZ

FILTROS COMBINADOS: A EFICIÊNCIA DOS FILTROS NO TRATAMENTO DE BIOGÁS

Dissertação apresentado ao Mestrado Acadêmico em Sociobiodiversidade e Tecnologias Sustentáveis (MASTS) da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro- Brasileira - Unilab, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Sociobiodiversidade e Tecnologias Sustentáveis, com a linha de pesquisa em Tecnologias e Desenvolvimento Sustentável.

Orientador: Prof. Dr. Juan Carlos Alvarado Alcócer.

Aprovado em: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Banca Examinadora

---

Prof.: Dr. Juan Carlos Alvarado Alcócer (Orientador)  
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira – UNILAB

---

Prof<sup>a</sup>: Dra. Olienaide Ribeiro de Oliveira Pinto  
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira - UNILAB

---

Prof.: Dr. John Hebert da Silva Felix  
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira - UNILAB

A Deus.

Aos meus amados pais, Lucilene e Evandro.

Aos meus filhos Ryan e Cibelle.

Aos meus irmãos Wegley e Mariza.

A meu companheiro Ricardo.

## **AGRADECIMENTOS**

Dedico este trabalho primeiramente a Deus por ter me dado saúde e força para superar as dificuldades.

A minha mãe Lucilene Calixto que é meu porto seguro e minha fonte de inspiração.

A meu pai Evandro Paz que é meu amigo e meu parceiro nas horas boas e nas horas difíceis.

Aos meus irmãos Wegley e Mariza, que sem dúvida nenhuma são os melhores que eu poderia ter.

Aos meus amados filhos Ryan e Cibelle, que alimentam minha vontade de voar cada vez mais alto.

A minha amada avó, Francisca Calixto (mãe Fransquinha) que é minha referência de amor, carinho e dedicação, obrigada por ter me cuidado tão bem, meu amor!

Ao meu companheiro Ricardo Andrade, pelo apoio e incentivo em todo o percurso dessa caminhada.

Ao meu amigo Paulo Andrade que esteve comigo nos momento mais difíceis dessa jornada, me ajudando na pesquisa, orientado e me fazendo acreditar que chegaríamos até aqui.

Ao meu querido amigo Arlindo Nogueira, que não mediu esforços para que eu realizasse esse sonho chamado mestrado, ele foi peça chave para eu viver este momento de agora. De todo o meu coração eu te agradeço!

Agradeço imensamente ao meu orientador, querido professor Juan Alcócer, por toda atenção e por tanta paciência comigo, por sua dedicação, compromisso e cuidado para que eu chegasse até aqui.

Agradeço a todos os meus professores que me ajudaram a ser quem hoje eu sou.

Aos amigos que fiz aqui, eu os agradeço pelo companheirismo, amizade e momentos de alegrias que vivemos juntos. Jairo, Liliane, Acácio e Hudson eu os guardarei em um lugar especial em meu coração sempre.

Aos professores do MASTS, que com profissionalismo me proporcionaram educação de excelência.

Aos professores participantes da banca examinadora, pelas valiosas colaborações, sugestões e por terem gentilmente aceitado participar e contribuir com este trabalho.

À esta Universidade e todo o seu corpo docente, além da direção e administração, que realizam seu trabalho com tanta dedicação, trabalhando incansavelmente para que nós, alunos, tenhamos ensino de qualidade.

À Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP) pela concessão da bolsa e apoio financeiro.

A todos que, direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação e que com boa intenção, colaboraram para a realização e finalização deste trabalho.

“Senhor, fazei de mim como as ondas do mar  
que fazem de cada recuo um impulso para ir  
mais adiante.”

(Cecília Meireles)



## RESUMO

No contexto atual da crise ambiental no Brasil percebe-se a importância de colocar em prática estudos para resolver os problemas mais urgentes, como é o caso de energias sustentáveis. Para isso, devem-se buscar fontes de energia que visem um equilíbrio ambiental, uma vez que o planeta já ultrapassou o estágio de alerta. A utilização de biodigestores, alimentados por dejetos de animais, mostra-se viável, não apenas por produzir o biogás que é rico em metano, mas também por devolver ao meio ambiente o biofertilizante, contribuindo assim, para a diminuição da poluição no meio rural, como a emissão de metano e dióxido de carbono para a atmosfera, a contaminação de solos, de água subterrânea e da superfície, também por ser economicamente viável, uma vez que seu custo é baixo considerando todos os seus benefícios. Nesse contexto, o trabalho tem por objetivo avaliar a eficiência de filtros combinados na produção de biogás a partir de protótipos de biodigestores confeccionados com materiais recicláveis. Os filtros serão combinados em cada unidade de biodigestor, sendo eles; água, esponja de aço e palha de aço.

**Palavras-chaves:** Biodigestores, Filtragem do biogás, Material reciclável, Meio ambiente, Metano.

## RESUMO

In the current context of the environmental crisis in Brazil, the importance of implementing studies to solve the most urgent problems, such as sustainable energies, is perceived. For this, energy sources that aim at an environmental balance should be sought, since the planet has already passed the alert stage. The use of biodigesters, fed by animal waste, proves to be viable, not only because it produces biogas that is rich in methane, but also because it returns the biofertilizer to the environment, thus contributing to the reduction of pollution in rural areas, with the emission of methane and carbon dioxide to the atmosphere, the contamination of soils, groundwater and surface, also because it is economically viable, since its cost is low considering all its benefits. In this context, the work aims to evaluate the efficiency of combined filters in the production of biogas from prototypes of biodigesters made with recyclable materials. The filters will be combined in each biodigester unit, being them; water, steel sponge and steel wool.

**Keywords:** Biodigesters, Biogas filtration, Recyclable material, Environment, Methane.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>15</b>
<b>2.1 Origem dos biodigestores.....</b>	<b>15</b>
<b>2.2 Biodigestores: benefícios e custos.....</b>	<b>15</b>
<b>2.3 Biogás e a sua filtragem .....</b>	<b>16</b>
<b>2.4 Biofertilizante.....</b>	<b>20</b>
<b>3. METODOLOGIA.....</b>	<b>22</b>
<b>3.1 Localização do experimento .....</b>	<b>22</b>
<b>3.2 Delineamento experimental e tratamentos.....</b>	<b>22</b>
<b>3.3 Materiais.....</b>	<b>23</b>
<b>3.4 Coleta de dados .....</b>	<b>24</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>25</b>
<b>5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>39</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>40</b>

## 1. INTRODUÇÃO

No cenário mundial dos dias de hoje, e com o aquecimento global em cena, a busca por fontes renováveis de energia vem sendo um tema cada vez mais recorrente. Dessa forma, a produção de energia por meio da biodigestão vem se tornando uma alternativa para suprir a demanda que cresce cada dia mais.

Nesse contexto, vários autores colocam o biogás como uma boa alternativa para a produção de energia, calor e combustíveis, sendo que o custo benefício na aquisição de um biodigestor se apresenta de maneira bem atrativa. Segundo Lemmer et al., (2015) esses são alguns dos motivos para que processos de filtração de biogás venham sendo abundantemente estudados e desenvolvidos.

Uma das alternativas para a destinação correta de dejetos animais e do saneamento básico da população rural humana é a instalação de biodigestores, que são equipamentos ou benfeitorias onde se realizam a decomposição dos poluentes de resíduos orgânicos e dejetos animais em um ambiente de anabiose (ausência de oxigênio), resultando em Metano (comumente conhecido como biogás) e biofertilizantes ricos em minerais (SANTOS et al., 2017).

Segundo Marcato e Lima (2005), a atividade agropecuarista merece atenção por proporcionar grandes benefícios à sociedade, entretanto, também gera poluição ambiental devido à quantidade de efluentes e dejetos produzidos pelos animais. Em pequenas propriedades, as criações são mantidas permanentemente ou temporariamente em pocilgas, galinheiros ou galpões para ordenha, o que concentra a produção dos dejetos em um ou mais locais e acarreta em poluição do ar, do solo e da água.

No Brasil, os resíduos de origem animal constituem-se em importante fonte de obtenção da biomassa, e a sua utilização em sistemas biointegrados para fins energéticos mostra-se favorável sob aspectos econômicos e ambientais. O constante aumento das atividades agrícolas tem resultado em um considerável aumento na produção de dejetos, ocasionando problemas de ordem sanitária pela grande quantidade de organismos patogênicos presentes nesses resíduos. (CALZA, Lana F. et al, 2015)

Apesar da importância da produção de alimentos, a população que se concentra em áreas rurais possui atendimento de saneamento básico precário devido a lacunas institucionais, falta de mecanismos de políticas públicas, de titularidade e de regularização dos serviços (GALVÃO, 2009). As pequenas propriedades têm como opção o uso de fossa rudimentar ou fossa negra, fossa séptica, biodigestor, rizo filtragem, dentre outros, ou a combinação destas técnicas entre si. As fossas negras ou rudimentares não evitam a contaminação do solo ou das águas, sejam superficiais

ou subterrâneas (COSTA; GUILHOTO, 2014).

De acordo com Dhanalakshmi e Ramanujam (2012), existem diversos processos para o tratamento destes resíduos, onde a biodigestão anaeróbia se traduz em uma tecnologia eficiente, uma vez que permite a obtenção do biogás e do biofertilizante, cuja disponibilidade, além de contribuir para amortizar o custo de instalação da tecnologia, soluciona o problema de saneamento da disposição destes resíduos no meio ambiente.

A destinação dos resíduos agrícolas e dejetos animais é um grande problema enfrentado pelos agricultores, pelo efeito contaminante do solo e das águas de rios e lençóis freáticos e a biodigestão constitui uma alternativa viável para atender os requisitos ambientais e de saúde pública. (NOGUEIRA et al., 2015).

Um estudo de Smith, Schroenn Goebel e Blignaut (2014) realizado na África do Sul, considerou que os insumos necessários para o funcionamento de um biodigestor como tecnologia para atender uma família seriam 20 kg de esterco de vaca e 20 litros de água por dia.

De acordo com Carvalho et al. (2017), os dejetos das criações rurais e até mesmo o esgoto doméstico, apesar de serem contaminantes ao meio ambiente quando não tratados, são excelentes substratos ou matéria-prima de biofertilizantes. Ainda segundo os autores, a instalação de biodigestores em propriedades de pequenos agricultores incentiva a sustentabilidade, ao fazer uso de energias renováveis, biofertilizantes e ainda fazer uma correta destinação dos resíduos gerados pela atividade agrícola.

O aproveitamento dos dejetos sob a forma de biogás (Metano) é apenas uma das vantagens da biodigestão anaeróbia, podendo ser citados a redução de odores, eliminação de patógenos, redução da demanda bioquímica de oxigênio (DBO), produção de biofertilizante, baixa produção de lodo, baixos custos operacionais e de investimento e possibilidade de sistemas descentralizados de tratamento de dejetos (OLIVEIRA, 2004).

A realização desta pesquisa justifica-se por trazer respostas a questionamentos que precisam ser ponderados na criação de biodigestores, com ênfase maior para produtores rurais.

Nesse sentido, o trabalho tem por objetivo geral avaliar a eficiência de filtros combinados na produção de biogás a partir de protótipos de biodigestores confeccionados com materiais de baixo custo.

Os objetivos específicos do trabalho são:

- Analisar a qualidade do biogás produzido por biodigestores alimentados com esterco bovino;
- Observar a saturação dos filtros utilizados nos biodigestores;

- Observar qual filtro apresenta melhor desempenho

Este trabalho encontra-se dividido em cinco capítulos sendo este o da introdução. No capítulo 2 será abordado o referencial teórico desta obra baseado na literatura existente. Foi feita uma revisão literária e apresentam-se considerações consideradas pertinentes para esta obra.

No capítulo 3 encontra-se a metodologia empregada para a parte experimental do trabalho. No capítulo 4 apresentam-se os resultados obtidos e as discussões sobre os mesmos e no capítulo 5 são enunciadas as conclusões do trabalho e a recomendação para futuros trabalhos.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Origem dos biodigestores.

Nos países europeus e asiáticos como a Alemanha e a China desenvolveu-se a técnica da produção de biogás na eliminação de resíduos de esgoto. O sistema consiste de um Biodigestor, equipamento que se apresenta em diversas formas, inicialmente era feito em alvenaria e localizado a alguns metros abaixo da terra, possui uma campânula por onde sai o gás, uma entrada de material e uma saída de emergentes (biofertilizantes), que na verdade é um adubo de ótima qualidade. Na figura 01 pode-se observar um esquema de um biodigestor. O gás produzido tem suas aplicações na iluminação, uso em fogões, geladeiras e motores de ciclo-otto (GONÇAVES et al., 2018).

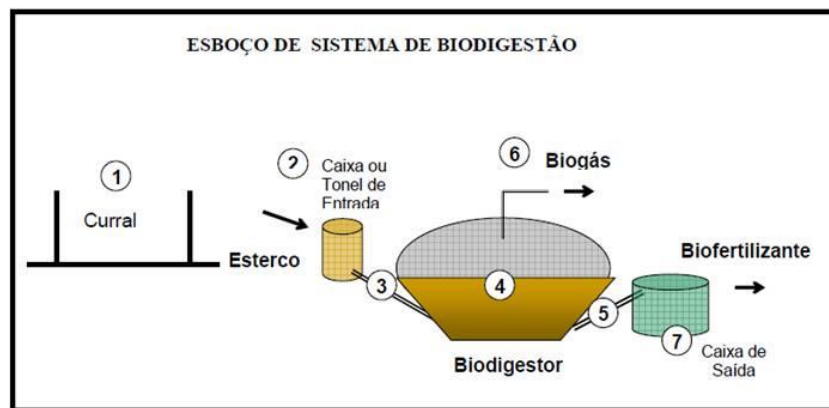


Figura 1 – Esboço do sistema de Biodigestão.  
Fonte: TORRES *et al.*, (2012).

No Brasil, na década de 1970 com a crise energética, começou a buscar novas formas para produção de energia renovável, o biodigestor uma opção adotada pelo país, onde foi instalado o primeiro biodigestor de modelo chinês pela empresa Embraer em novembro de 1979 na “Granja do Torto” em Brasília. Com o Segundo choque dos preços de petróleo em 1979, o governo adotou algumas medidas voltada para a substituição e conservação de derivados de petróleo. No período da crise foram utilizadas diversas formas de estímulos à instalação de biodigestores tal e como se pode observar na figura 2 (SMEJA, 2011).

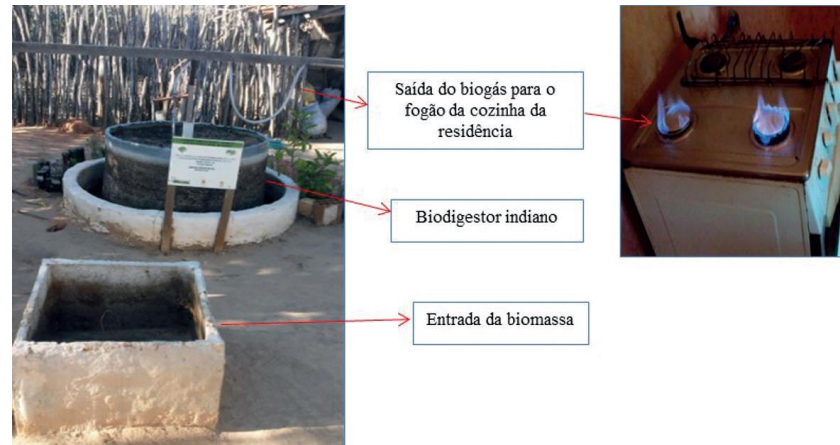


Figura 2. Biodigestor indiano na Lagoa do Serrote, município de Ocara, Maciço de Baturité, Ceará.

Fonte: Alcócer et al 2019.

## 2.2 Biodigestores: benefícios e custos.

Dentre os principais benefícios gerados com o uso do biodigestor, está o econômico e o financeiro. Nos estudos realizados em que a escala de biomassa possui grande relevância, seja nas propriedades rurais ou na indústria, a produção de energia se apresentou como um dos principais benefícios. No estudo de caso realizado por Gomes e Raiher, em diferentes situações de capacidade de um biodigestor, a geração de energia variou de 221,10 MWh a 580,65MWh por ano, para uso da propriedade ou venda do excedente de energia (Gomes e Raiher, 2013).

Barichello et al. apontam a economia de energia em valores monetários gerados em pequenas propriedades por meio do comparativo de dois projetos, em que a energia gerada é utilizada exclusivamente nas propriedades, com a geração de 1700KWh e 5000KWh de energia por mês. Outros estudos demonstram a diversificação nas propriedades rurais ou substituição da energia das concessionárias, que utilizam energia gerada pelo biodigestor (Barichello et al. 2015).

Silva e Cirani analisam o uso do biodigestor como uma oportunidade de inovação sustentável, a partir dos benefícios gerados ao meio ambiente com o uso da tecnologia limpa e da ecoinovação, que em determinados aspectos podem ser mais lucrativos, considerando a melhoria da imagem do negócio em questão e seu compromisso ambiental e social (Silva e Cirani 2016; Silva et al. 2016).

## 2.3 Biogás e a sua filtragem

De acordo com Oliveira, Alessandro Volta, descobriu o Biogás no século XVIII e logo começou a ser produzido em larga escala em biodigestores espalhados pela China e Índia com a intenção de atender as necessidades energéticas na zona rural. Para Oliveira a utilização desse gás obtido em larga escala permitiria que a humanidade reduzisse o consumo de combustíveis não renováveis e ainda se tornaria uma ferramenta que contribui na redução do efeito estufa e



consequentemente em medida mitigadora do aquecimento global (Oliveira 2009).

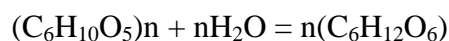
Segundo Reis a utilização energética do biogás apresenta grande importância estratégica dentro do enfoque dos impactos ambientais, pois além de viabilizar seu aproveitamento como fonte de energia, contribui para o controle das emissões do gás metano na atmosfera, já que têm um potencial de aquecimento global vinte vezes maior do que o gás carbônico (Reis 2012).

De acordo com Oliveira, na década de 70, durante o período da crise energética no Brasil, a busca por energias alternativas despertou o interesse em aplicar a tecnologia da biodigestão anaeróbia. Mas, atualmente, o interesse maior está relacionado à sua capacidade de estabilização de resíduos, devido à necessidade cada vez maior de preservação do meio ambiente (Oliveira 2009).

O biogás é uma fonte de energia renovável, que pode ser utilizado na substituição do gás liquefeito do petróleo (GLP), lenha, gasolina como combustível para geração de energia elétrica, na alimentação de motores e na geração de energia térmica (OLIVEIRA, 2004).

Por ser uma fonte renovável de energia proveniente de matéria orgânica, e por se tratar de um processo muitas vezes realizado em meio rural, é de se esperar que o biogás possa conter elementos que, muitas vezes, são indesejáveis à mistura. O biogás que se gera na digestão anaeróbica da matéria orgânica, após suas quatro etapas conhecidas como (FREIHE, WEILAND e SCHATTAUER, 2010; SILVA, 2009):

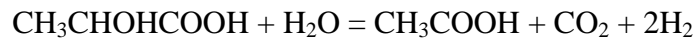
- (i) Hidrólise: Primeiro estágio em que os compostos orgânicos (carboidratos, proteínas são decompostos em substâncias menos complexas (aminoácidos, açúcares e ácidos gráxicos). No processo atuam bactérias hidrolíticas cujas enzimas liberadas decompõem o material por meio de reações bioquímicas tais como



- (ii) Acidogênese: Utilizando bactérias fermentativas ácido génicas, os compostos intermediários formados na hidrólise se decompõem em ácidos graxos de cadeia curta (ácidos acético, propiónico e butírico), dióxido de carbono e hidrogênio. Formam-se também pequenas quantidades de ácido láctico e álcoois. Exemplos destas reações são:

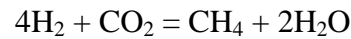


- (iii) Acetogênese: Com bactérias aceto génicas, os ácidos gráxicos e os álcoois formados na etapa de Acidogênese são transformados em H<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub>, que são substratos importantes na produção de metano (CH<sub>4</sub>).

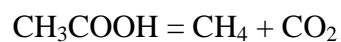


(iv) Metanogênese: Nessa fase o  $\text{H}_2$  e o  $\text{CO}_2$  são transformados em metano e dióxido de carbono através de um grupo de procariontes, chamadas de metanobactérias. Entre as metanobactérias há dois tipos:

(a) os metanógenos hidrogenotróficos que produzem metano a partir de hidrogênio e dióxido de carbono,



(b) os metanógenos acetoclásticos que produzem metano através da redução do ácido acético.



Na metanogênese, é onde normalmente há a limitação da produção de gás. Isto acontece pela alta sensibilidade das bactérias metanogênicas a fatores como (a) estado do substrato, (b) condições do ambiente e (c) características do biodigestor. De acordo com Souza os seguintes fatores devem ser observados. (SOUZA, 1984)

- Temperatura: Bactérias metanogênicas são sensíveis principalmente à elevadas variações de temperatura, o que deve ser evitado. O processo de digestão pode ocorrer normalmente numa temperatura entre 15 °C e 40 °C, sendo a faixa de melhor eficiência uma temperatura entre 30° C e 40°C.
- Ausência de oxigênio: Como as principais bactérias do processo são anaeróbicas, a presença de oxigênio na biomassa pode ocasionar mortes das bactérias.
- pH: Caso as bactérias metanogênicas trabalhem em condições adversas, os ácidos voláteis presentes na biomassa não seriam devidamente transformados em gás metano, assim, com o tempo haveria um aumento na acidez da biomassa, provocando uma queda no pH. O pH ótimo é entre 6,8 e 7,2, dessa forma, à medida que o pH diminui, a eficiência das bactérias metanogênicas também diminui, assim ocorrendo um efeito cadeia podendo ocasionar perda total do biodigestor.

O biogás é uma composição de vários gases tais como metano ( $\text{CH}_4$  – 50 – 70%), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ - 25 – 45%) e pequenas quantidades de outros gases variando de acordo com a matéria orgânica utilizada. Um desses gases que se apresenta em pequenas quantidades, o ácido sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$  – 0,005 – 2%) é o mais prejudicial por ser muito tóxico e corrosivo e se não é retirado levará à diminuição drástica do tempo de vida útil das tubulações e componentes de equipamentos como motogeradores, utilizados para a conversão do biogás em energia elétrica, além de ser bastante prejudicial à saúde das pessoas e ao ambiente. Por este motivo existe a

necessidade de eliminar esse e outros componentes prejudiciais (Alcócer et al 2014, Alcócer et al 2019).

Com a retirada de impurezas como água e dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), conseqüentemente ocorre um aumento no poder calorífico do biogás, por aumentar a concentração de metano ( $\text{CH}_4$ ). (PRAKASAN et al., 1984). A remoção das impurezas presentes no biogás pode ser feita através de filtros e dispositivos de resfriamento, condensação e lavagem. Para remoção de vapores de água recomenda-se o uso de drenos acoplados na rede de distribuição de biogás (OLIVEIRA, 2004).

Quando há combustão do ácido  $\text{H}_2\text{S}$  junto ao biogás temos como resultado dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ) que como é muito solúvel em  $\text{H}_2\text{O}$  pode provocar graves problemas ambientais, já que o  $\text{SO}_2$  reage com gotículas do ar formando o ácido sulfuroso e precipitando-se sob a forma de chuva ácida causando uma diminuição do pH da água e nos solos interferindo desta forma na solubilidade de compostos indispensáveis ao desenvolvimento vegetal.

Hinton e Stone sugerem que a dessulfurização deste gás é indispensável para a sua utilização como fonte de energia, pois a filtragem do  $\text{CO}_2$  e principalmente do  $\text{H}_2\text{S}$  é necessária para ter um aumento do poder calorífico e da não agressão às partes metálicas de motores e equipamentos. Além disso, para a utilização energética, o  $\text{CO}_2$  presente no biogás é considerado como inerte, atuando como um diluente no biogás e a remoção extra, mesmo que parcial, do dióxido de carbono aumenta, significativamente, seu poder calorífico (HINTON; STONE, 2014). Horikawa sugere que existem muitas maneiras de remoção do  $\text{H}_2\text{S}$  na literatura, mas que grande parte delas se limita a remover o sulfeto de hidrogênio do biogás sem transformá-lo em um composto mais estável ou com maior valor agregado (Horikawa et al. 2004).

Segundo Frare, quando são comparados os mais diversos processos existentes de purificação de biogás, os que se utilizam de absorção com reação química, com regeneração do reagente, mostraram-se extremamente viáveis devido as vantagens operacionais como, seletividade e elevada eficiência na remoção de  $\text{H}_2\text{S}$ , facilidades na regeneração, um processo que suporta diversas condições de ambientais e a geração de subprodutos estáveis (Frare et al. 2009).

Deval e Delaune afirmam que uma forma apropriada de se eliminar os gases nocivos seria fazê-lo durante o processo de digestão anaeróbica e isto ocorreria pela adição de biocidas específicos que reduziriam a atividade dos microrganismos pelo aumento do pH, fazendo assim que os sulfetos pudessem permanecer na fase líquida do processo, promovendo desta forma uma maior concentração da forma dissociada e deslocando o equilíbrio líquido-vapor à fase líquida (DEVAI; DELAUNE, 2002). Já para McKINSEY os altos custos dos compostos envolvidos na aquisição químicos, essa técnica não é utilizada em escala industrial (McKINSEY, 2003).

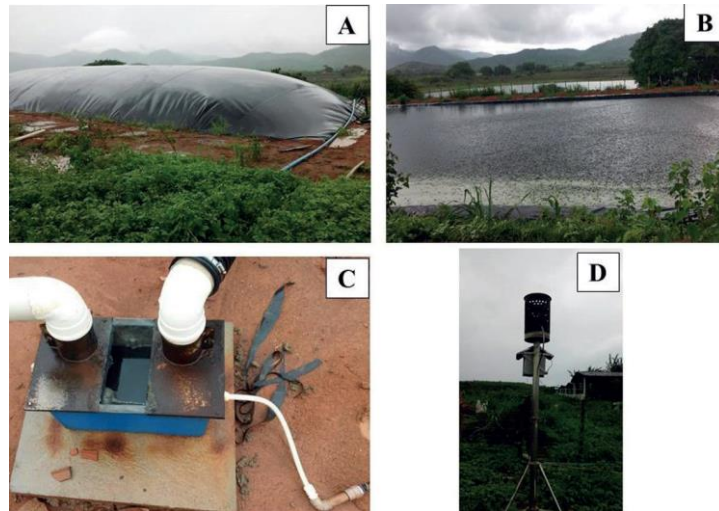


Figura 3. Biodigestor canadense localizado em Redenção, Maciço de Baturité, Ceará:  
 A) Biodigestor canadense (200 m<sup>3</sup>), B) Lagoa de estabilização para armazenar o biofertilizante,  
 C) Filtro de água e D) Saída do biogás. Fonte: Alcócer et al 2019.

CORBITT discursa sobre um dos métodos mais utilizados em propriedades rurais para realizar a filtragem: a absorção física. Nesse processo o fluxo gasoso é transferido para um líquido absorvente devido à diferença de solubilidade e concentração entre as duas fases. Na absorção física não há reações químicas, só a dissolução de compostos em um absorvente não volátil, usualmente a água. Com esse método se transfere o sulfeto de hidrogênio do fluxo gasoso para a fase líquida, conseqüentemente a água deve ser tratada após o procedimento. Na figura 3 pode-se observar um biodigestor canadense com um filtro de água (CORBITT, 1990; Alcócer et al 2019)

A purificação realizada após a produção do biogás utiliza diferentes processos físicos, químicos e biológicos para tal finalidade. Os processos físicos e químicos geralmente são utilizados para controlar odores e problemas de corrosão causados pela presença de gases contendo enxofre. Um método muito utilizado também para retirar o H<sub>2</sub>S é realizado através da passagem do biogás em um filtro, ocorrendo uma reação química entre o composto que se deseja remover com o meio filtrante (Alcócer et al 2019).

#### Solução por Oxido de Ferro:

Neste caso forma-se sulfeto de ferro insolúvel. Geralmente são impregnados pequenos pedaços de madeira com o óxido de ferro, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ou Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, e coloca-se esses pedaços na coluna de dessulfuração tal e como se mostra na figura 4, onde entram em contato com o sulfeto de hidrogênio. As equações (1) e (2) demonstram a sequência de reação envolvendo o Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (óxido de ferro III) e o H<sub>2</sub>S.

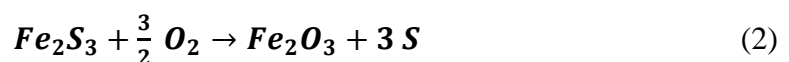
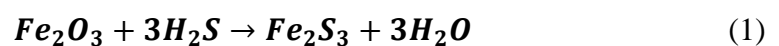




Figura 4. Filtragem do biogás. (Barrichello 2015)

Há outras técnicas que podem ser utilizadas. Esses processos são amplamente discutidos na literatura. O leitor interessado pode consultar a obra de Alcócer et al. Nesta obra discutem-se processos químicos, físicos e biológicos diversos tais como carvão ativado, solução utilizando óxido de zinco, absorção física, processos químicos (lavadores químicos, solução alcalonamina, solução de hidróxido de sódio – NaOH, peróxido de hidrogênio – H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), dentre outras (Alcócer et al 2019).

#### 2.4 Biofertilizante

A biodigestão anaeróbia é um processo bioquímico que ocorre na ausência de oxigênio molecular livre, utilizada no tratamento e reciclagem de resíduos orgânicos, responsáveis pela produção de biogás (constituído, em maior proporção, por gases CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub>), bem como a produção de biofertilizante. Ao final do processo de biodigestão a estabilização do material orgânico, que pode proporcionar a adição de matéria orgânica no solo na forma de húmus, importante para as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. O biofertilizante permite reciclar nutrientes e manter a produtividade do solo em níveis adequados pela presença de macro e micronutrientes disponíveis.

Para utilização adequada do biofertilizante é necessário conhecer a composição física, química e biológica do material, para que o mesmo possa ser utilizado de forma segura sem contaminar o ambiente e para que seja melhor aproveitado para as culturas. Tais fatores foram alicerces para a resolução n° 375/2006 do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA (BRASIL, 2006).

O biofertilizante como resultado de saída do uso de biodigestores se apresenta na literatura como um benefício para as propriedades rurais no que diz respeito à geração de renda e diminuição dos custos da propriedade como alternativa para uso de adubação química (MONTORO et al., 2017).

O uso da adubação orgânica de origem animal torna-se, prática conveniente e às vezes econômica para os pequenos e médios produtores de hortaliças, uma vez que exerce melhoria na estrutura física, na fertilidade e na conservação do solo, aumentando a retenção de água,

diminuindo as perdas por erosão e favorecendo o controle biológico. (Galvão et al., 2009).

### **3. METODOLOGIA**

#### **3.1 Localização do experimento**

O experimento foi conduzido no município de Fortaleza, Ceará. O local tem exposição direta de sol, com maior incidência solar entre às 9:00 horas até às 14:00 horas.

#### **3.2 Delineamento experimental e tratamentos**

Foram utilizados quatro protótipos de biodigestores iguais, diferenciando apenas os filtros de cada um deles. Os mesmos foram implantados em uma área externa da localização mostrada na figura 5. O experimento foi realizado duas vezes com cinco ciclos cada um. A necessidade destes ciclos surgiu ao se encontrar que os biodigestores se saturam e fez-se necessário purgar o biogás perante o perigo de explosão. Cada biodigestor tem um conjunto de sensores que enviam os dados a um sistema computacional que armazenou os dados e permitiu a sua posterior análise. (Andrade 2021)

Foram produzidos biodigestores utilizando garrafões de água de 20 litros. Cada biodigestor é composto basicamente por 3 (três) compartimentos: sendo o compartimento inferior, o depósito de biomassa, onde é feito o abastecimento de matéria orgânica no biodigestor e também onde ocorreu a digestão anaeróbica, este compartimento também recebeu um sensor de temperatura.

Cada câmara de biodigestor que possui 20 litros de área útil recebeu 18 litros de biomassa. A biomassa foi composta por 9 litros de esterco bovino fresco e 9 litros de água em temperatura ambiente.

O esterco bovino foi pesado e teve seu volume medido para determinar a densidade da matéria orgânica utilizada no experimento. A água utilizada no experimento foi límpida, potável, livre de contaminantes e livre de cloro; foi colocada nos biodigestores a temperatura ambiente, isto é, 25 graus Celsius ou superior, até o limite de 32 graus Celsius, para que houvesse uma condição ideal no início do processo de biodigestão e na preservação da vida bacteriana pré-existente na matéria orgânica.

Após a mistura do esterco bovino (9 litros) com a água (9 litros) originou-se o material denominado de biomassa. A biomassa foi bem misturada para que a obtenção de um material bem homogêneo.

Os aparelhos foram identificados como: biodigestor 1, biodigestor 2, biodigestor 3, biodigestor 4. O biodigestor 1 foi utilizado como o controle e foi abastecido apenas com a biomassa (18 litros) e não recebeu nenhum tipo de filtro para o biogás. O biodigestor 2 recebeu além de 18 litros de biomassa um filtro líquido, composto por uma coluna de 10 cm

de água que ficou alojada na parte inferior da câmara do gasômetro.

O biodigestor 3 recebeu 18 litros de biomassa e dois filtros para o biogás:

- (i) um filtro sólido composto por uma camada compactada de esponja de aço (aço carbono de estrutura fina esponjosa) alojada no compartimento de 20 cm de comprimento por 50 mm de diâmetro na área interna, e
- (ii) um filtro líquido composto por uma coluna de 10 cm de água no gasômetro por onde o biogás gerado passará por borbulhamento.

O biodigestor 4 também recebeu 18 litros de biomassa e dois filtros: um sólido e um líquido. O filtro sólido estava composto pelo material compactado de palha de aço (aço carbono de estrutura espessa e rígida) e o filtro líquido foi composto por água em uma coluna de 10 cm pela qual o biogás foi lavado antes de ser alojado no gasômetro.

Após ter ido realizada a alimentação dos 4 biodigestores com a respetiva biomassa e terem sido colocados os conjuntos de filtros determinados para cada experimento, os módulos de sensores eletrônicos do sistema UNIBIO foram acoplados em cada biodigestor conforme sua identificação e o controlador pode ser inicializado. Foi assim iniciado o processo de biodigestão e seu monitoramento em tempo real via plataforma que durou até sessenta dias.

Fez-se um estudo sobre os materiais que deveriam ser aplicados no filtro em estudo concomitante sobre o desempenho de filtros para o biogás no processo de biodigestão que fará uso dos resultados obtidos neste estudo através do monitoramento no sistema UNIBIO.

### 3.3 Materiais

Para a construção do biodigestor do tipo batelada de laboratório compatível com o sistema de automação UNIBIO no qual denominaremos neste projeto de biodigestor UNIBIO foram utilizados os componentes conforme listado na tabela 1.

Tabela 01 Materiais utilizados e custo para a construção de um biodigestor UNIBIO

Item	Descrição	Qtd	Métrica	Valor do Item	Valor total do Item
1	Garrafão de Água em Policarbonato Cristal 20 Litros - com prazo de validade vencido (Reciclado)	2	Unidade	R\$ 3,00	R\$ 6,00
2	Tubo de Pvc Linha Esgoto 50 mm	1	Metro	R\$ 10,00	R\$ 10,00
3	Adaptador de PVC Linha Água 25mm x 3/4" Soldável e Rosca	1	Unidade	R\$ 2,50	R\$ 2,50
4	Luva de PVC Linha Água 25mm x 3/4" Soldável e Rosca	1	Unidade	R\$ 2,50	R\$ 2,50
5	Bucha de Redução Longa para Esgoto 50x40mm	2	Unidade	R\$ 4,00	R\$ 8,00



6	Luva para Esgoto simples 50mm	2	Unidade	R\$	3,00	R\$	6,00
7	Registro Esfera PVC Soldável 25mm com Borboleta	1	Unidade	R\$	8,00	R\$	8,00
8	Joelho PVC Linha Água 25mm Soldável 90°	1	Unidade	R\$	1,50	R\$	1,50
9	Tubo de PVC Linha Água 25 mm Soldável	0,1	Metro	R\$	4,00	R\$	0,40
10	Mangueira de PVC flexível Transparente parede 8mm - Parede interna 5/16"	1	Metro	R\$	3,00	R\$	3,00
11	Parafuso de telha 30cm diâmetro 5/16"	1	Unidade	R\$	2,50	R\$	2,50
12	Cantoneira metal em L- 2cm x 2 cm	4	Unidade	R\$	0,50	R\$	2,00
13	Parafuso fenda niquelado 1/4" x 3cm com porca e arruela	4	Unidade	R\$	1,50	R\$	6,00
14	Conexão Registro de Gás Alta Pressão 3/8"	1	Unidade	R\$	22,00	R\$	22,00
15	Tubo de PVC Linha Esgoto 100mm	0,2	Metro	R\$	14,00	R\$	2,80
16	Fita Telada Fibra de Vidro 48mm	0,2	Metro	R\$	6,00	R\$	1,20
17	Cola Adesivo Plástico PVC 75g	1	Unidade	R\$	4,50	R\$	4,50
18	Massa Adesiva Époxi Bicomponente 100g	1	Kilo	R\$	8,00	R\$	8,00
19	Resina Acrilica Cristal	0,5	Litro	R\$	22,00	R\$	11,00
20	Adesivo Selante a base de poliuretano PU40 310ml	0,5	Unidade	R\$	18,00	R\$	9,00
21	Tinta Esmalte Preto Fosco - Base de Água	0,2	Litro	R\$	28,00	R\$	5,60
22	Tinta Esmalte Branco - Base de Água	0,2	Litro	R\$	28,00	R\$	5,60
Custo Total para 1(Um) Biodigestor UNIBIO:						<b>R\$</b>	
						<b>128,10</b>	

### 3.4 Coleta de dados

A coleta dos resultados foi feita por observação direta no local onde estão instalados os biodigestores, devido às medidas sanitárias que se aplicavam na região de isolamento social no período que ocorreu o experimento Participaram de forma presencial, o administrador dos biodigestores Francisco Paulo e remotamente por videoconferência pela pesquisadora (Paz, Deyk).

A coleta de dados foi feita por meio de aplicativo alimentado por sensores que estão interligados ao funcionamento dos biodigestores. Nos apêndices deste trabalho se mostram vários detalhes dos sensores e do dispositivo computacional desenvolvido.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram construídos quatro biodigestores para se realizarem os experimentos.

Para a construção de cada biodigestor no qual foi denominado neste trabalho de biodigestor UNIBIO, foram utilizados os componentes conforme apresentados na tabela 1.

Cada biodigestor, tal e como se mostra na figura 6, é composto basicamente por 3 (três) compartimentos: sendo o compartimento inferior, o depósito de biomassa, onde é feito o abastecimento de matéria orgânica no biodigestor e também onde ocorreu a digestão anaeróbica, este compartimento também recebeu um sensor de térmico, para acompanhar e assim garantir a temperatura ideal para o experimento.



Figura 5: Biodigestores prontos. Fonte: Andrade 2021

O segundo compartimento do biodigestor está na parte superior do depósito de biomassa, especificamente a parte que aloja os filtros de esponja de aço e palha de aço. Os filtros sólidos precisam de um ambiente adequado para desempenharem sua função sem comprometer os resultados do processo. Os filtros utilizados são esponja de aço e palha de aço. Esses filtros foram feitos com uma coluna de 20 cm de material (esponja ou palha de aço) compactado e colocado no interior de um tubo que foi ubicado sobre o primeiro compartimento tal e como pode-se observar na figura 5.

O terceiro compartimento corresponde ao lugar de armazenamento do biogás já filtrado, o mesmo receberá o filtro de água, e receberá também os seguintes sensores: o sensor de temperatura, sensor de umidade relativa, sensor de pressão manométrica, sensor de gás metano, sensor de gás carbônico, sensor de gás sulfídrico, distribuídos como mostra a figura 6.

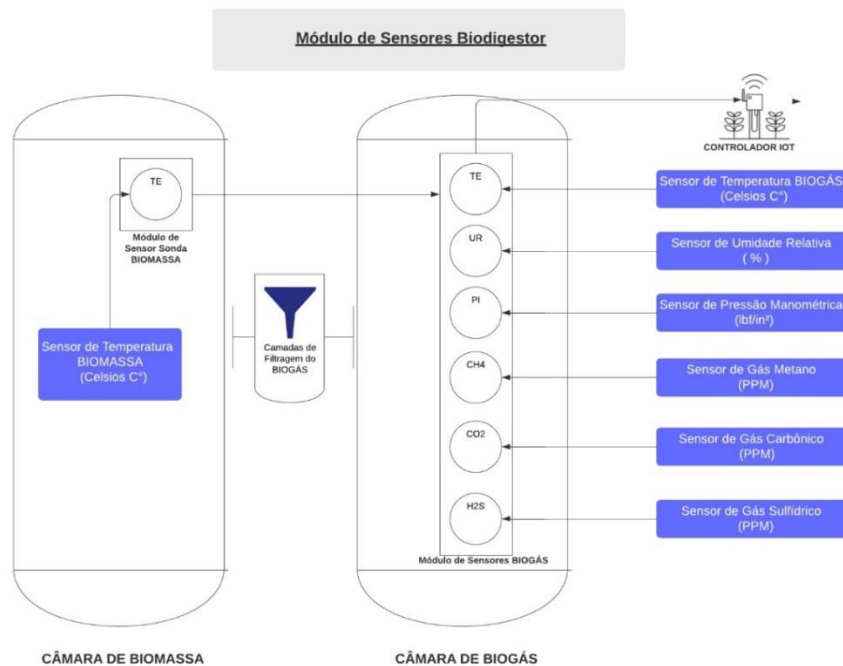


Figura 6: Mapeamento dos sensores. Fonte: Andrade 2021

Os equipamentos foram montados, e colocou-se material dentro da câmara de biodigestão. Nesse momento foram ligados os sensores e as primeiras bateladas foram utilizadas para verificar o correto funcionamento dos sensores. Para se obter os dados primeiramente os sistemas de biodigestão foram montados e fez-se necessário um método de calibração do conjunto de sensores tal e como se mostra na figura 7.



Figura 7. Sistema de calibração utilizado com os sensores empregados nos biodigestores. Fonte: Andrade 2021

Na figura 7 pode-se observar o calibrador de conjunto, onde temos todos os 4 módulos de leitura lendo de um mesmo biodigestor que já estava em fase de geração de gases. A ideia do calibrador de conjunto surgiu ao se observar que os tempos de início de captação de cada protótipo terão início em momentos diferentes, pois por exemplo um biodigestor que sem filtro começa a captar gases primeiramente, sendo que os protótipos com filtro de água, tem uma barreira hidráulica que leva um tempo para o gás romper e chegar no gasómetro.

Uma vez que os sensores foram verificados fez-se uma batelada para poder obter uma comparação entre os diferentes filtros que foram utilizados. Os resultados apresentam-se na tabela 02.

**Tabela 02.** Concentração dos gases nos biodigestores.

	Biodigestor 1 Sem Filtros		Biodigestor 2 Filtro Água		Biodigestor 3 Filtro Água mais esponjas de aço		Biodigestor 4 Filtro Água mais palha de aço	
Temperatura Máxima Biomassa (°C)	29,7		32,2		32,6		32,8	
Temperatura Mínima Biomassa (°C)	26,1		25,6		25,1		24,9	
Concentração	ppm	%	ppm	%	Ppm	%	Ppm	%
Gás metano (°C)	7350	61,5	8920	65,9	9550	67,4	9385	67,1
Gás carbônico	4600	38,4	4600	34,0	4600	32,5	4600	32,8
Gás sulfídrico	67	<1	24	<1	8	<1	12	<1

Na tabela 02 pode-se observar a temperatura máxima e mínima que foram registadas pelo sensor de temperatura dedicado à biomassa. Esta temperatura é importante para ter certeza que a biodigestão está ocorrendo. O período mostrado corresponde a um tempo de 20 dias logo após a aplicação do método de calibração do conjunto.

Os dados apresentados na tabela 2 das concentrações de H<sub>2</sub>S, CH<sub>4</sub> e gás carbônico estão em partes por milhão e em percentagem (%). Os resultados encontrados se encontram em consonância com os resultados relatados na literatura (Alcócer et al 2014, Torres e Lloréns 2008, Viswanath et al 2003). Foi possível constatar que a aplicação de Filtros gera uma barreira

térmica que retêm maior calor na biomassa durante períodos de exposição ao sol; que a aplicação da camada de filtro líquido com água eleva bastante a umidade relativa do ar dispersa no gasômetro;

Neste primeiro experimento foi observada uma melhor eficiência nos filtros combinados que estão inseridos do biodigestor 3, que correspondem aos filtros de Água + Esponja de Aço. Obtendo-se Gás Metano na Proporção de 67.4% com a presença de Sulfeto de Hidrogênio na concentração de 8 PPM. O resultado padrão de referência sem filtros (encontrado no biodigestor 1) apresentou gás Metano na proporção de 61.5% com a presença de Sulfeto de Hidrogênio em concentração de 67 PPM;

Um aplicativo foi desenvolvido para acompanhar os resultados encontrados no período de cada experimento. A tela do aplicativo se mostra na figura 9. Com este aplicativo foi possível obter dados para apresentar o comportamento diário nos biodigestores com um intervalo de 5 minutos.

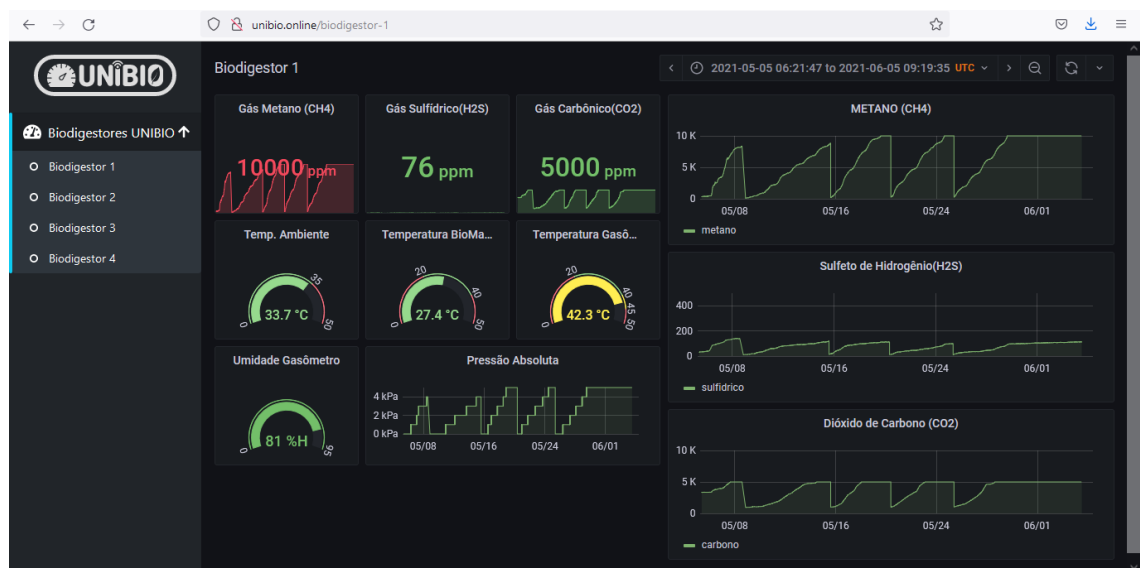


Figura 8. Dispositivo desenvolvido para as medições nos biodigestores.  
Fonte: Andrade 2021

Na tela do dispositivo pode-se encontrar gráficos e valores numéricos de diferentes propriedades dos gases nos biodigestores. Estes gráficos são gerados com os valores que o sistema deteta a cada intervalo de tempo predeterminado. Com estes valores é possível preencher tabelas e com essas tabelas podem ser gerados gráficos e obter diversas informações do biodigestor. Para cada biodigestor é possível observar o gráfico da concentração de metano ( $\text{CH}_4$ ) em função do tempo assim como o gráfico da concentração de  $\text{H}_2\text{S}$  e do  $\text{CO}_2$  também em função do tempo. Também se apresenta as concentrações máximas destes gases. Também há dados sobre a temperatura ambiente, a temperatura no biodigestor e a temperatura na biomassa.

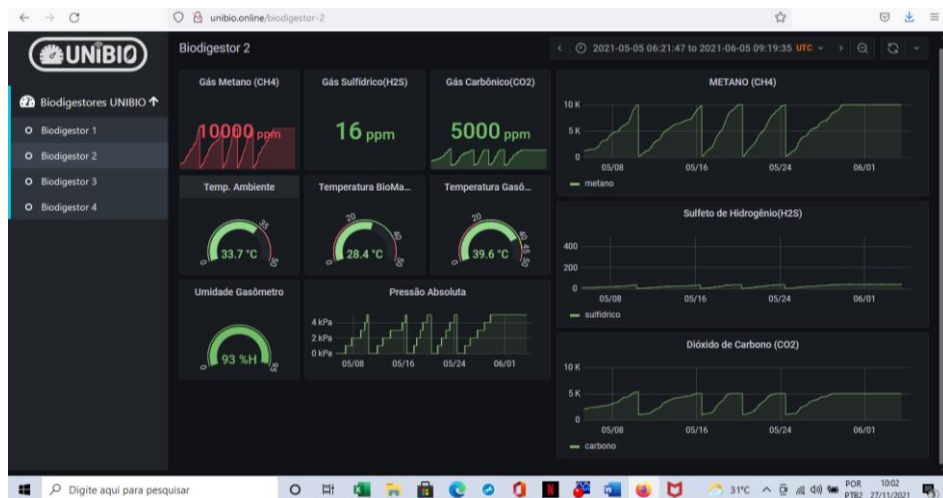
Por fim se apresenta a umidade e a pressão na saída dos gases em função do tempo. Para cada um dos biodigestores é possível fazer o conjunto de observações descrito anteriormente.

Com base nos dados gerados pelo monitoramento eletrônico no ensaio de biodigestão ocorrido no período entre os dias: 12 de abril de 2021 e o dia 04 de junho de 2021 coletados pelo sistema UNIBIO, o módulo cliente WEB nos apresentou através de gráficos e tabelas de dados os resultados para cada protótipo de biodigestor.

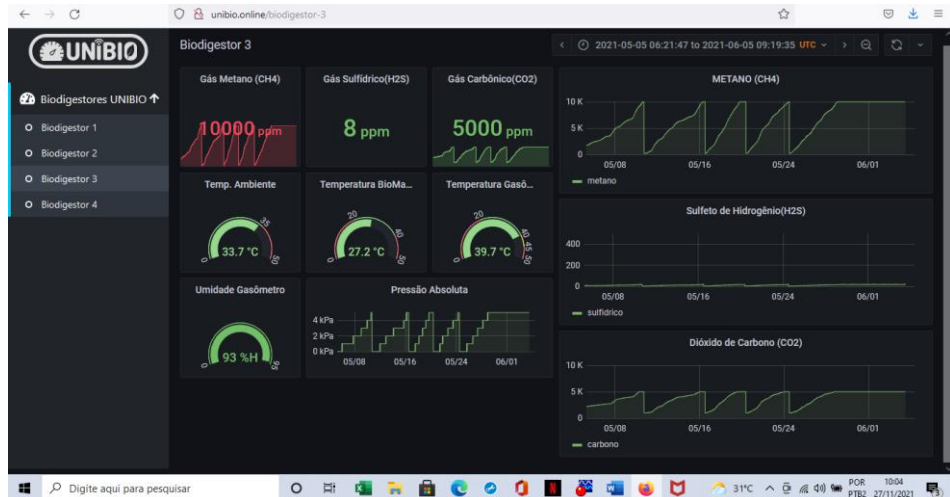
Os resultados do desempenho dos filtros foram extraídos a partir da análise dos dados gerados pelo sistema de monitoramento, conforme os gráficos que podem ser observados na figura 8 que abrangia os dados de leituras dos gases em ppm (gás metano, dióxido de carbono, razão metano/dióxido de carbono, sulfeto de hidrogênio).



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 9. Aplicativo mostrando os dados dos experimentos realizados com os biodigestores (a) biodigestor sem filtros, (b) biodigestor com filtro de água, (c) biodigestor com filtro de água mais esponja de aço, (d) biodigestor com filtro de água mais palha de aço. Fonte: Andrade 2021.

Baseado nos dados da figura 9, foram obtidas informações dos diversos gases que serão apresentados e discutidos. Na tabela 03 se apresentam os dados coletados pelo sistema para o biodigestor 1 (sem filtros). Há vários ciclos no experimento, tal e como se pode observar na figura 10, devido ao fato de quando se atingir certo valor a pressão era muito alta e fez-se necessário realizar uma purga para evitar explosões.

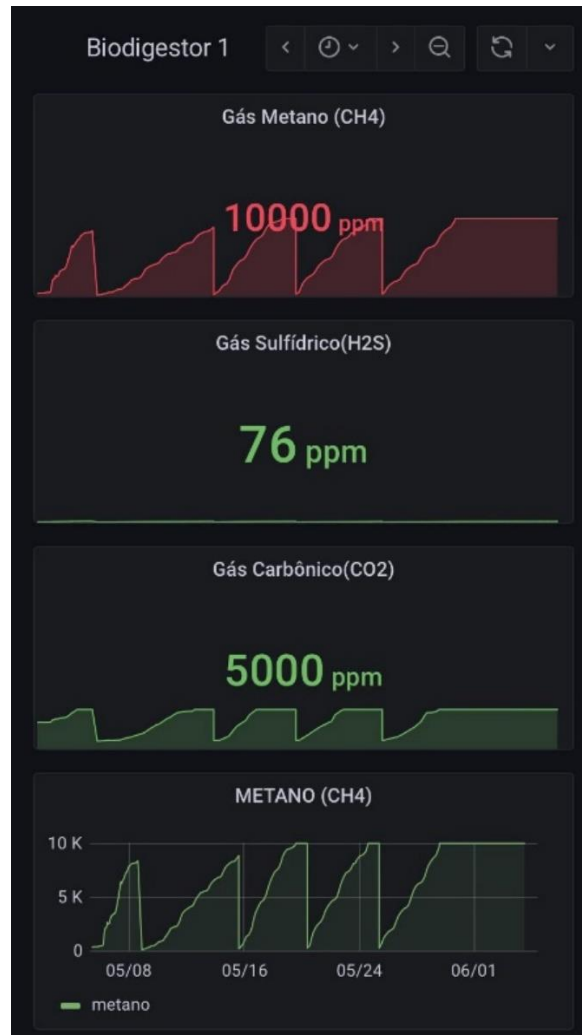


Figura 10. Tela do dispositivo desenvolvido para medições nos Biodigestores. Tela UNIBIO 01.  
Fonte: Andrade 2021

O comportamento em cada ciclo se apresenta graficamente na tela do UNIBIO tal e como se mostra na figura 10 para os três tipos de gases de interesse para este trabalho. Observe-se que para o primeiro ciclo o tempo para chegar na saturação é de 22 dias enquanto para os outros ciclos é menor. Pode-se observar que na média há um 60,7% de metano, um 38,5% de gás carbônico e 0,5% de H<sub>2</sub>S. Observou-se uma produção mais acentuada de gás sulfídrico após os 20 primeiros dias até aproximados 30 dias de processo de biodigestão apresentando uma queda acentuada após o primeiro mês. Isto se encontra de acordo com a literatura e os dados relatados em laboratório (Alcócer, 2014).



**Tabela 3.** Dados obtidos com o sistema UNIBIO para o biodigestor 01 (SEM FILTROS).

<b>Ciclo</b>	<b>Tempo de saturação (dias)</b>	<b>Pressão do gasômetro (kPa)</b>	<b>CH<sub>4</sub> (ppm)</b>	<b>CO<sub>2</sub> (ppm)</b>	<b>H<sub>2</sub>S (ppm)</b>
<b>1</b>	<b>22</b>	<b>3</b>	<b>7081</b>	<b>4600</b>	<b>129,64</b>
<b>2</b>	<b>7</b>	<b>3</b>	<b>7288</b>	<b>4600</b>	<b>100,87</b>
<b>3</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>7272</b>	<b>4600</b>	<b>97,13</b>
<b>4</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>7297</b>	<b>4600</b>	<b>57,51</b>
<b>5</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>7315</b>	<b>4600</b>	<b>53,96</b>
<b>Valor Médio</b>			<b>7251</b>	<b>4600</b>	<b>53,94</b>

Na tabela 4 se apresentam os dados que o sistema UNIBIO mostrou para o biodigestor 02, cujo filtro é de água. Este protótipo apresentava uma camada de filtro de água. Obtendo a seguinte relação média entre as leituras dos gases monitorados presentes no biogás:

- (i) Gás Metano: 64,93%
- (ii) Gás Carbônico: 34,83%
- (iii) com uma concentração de gás sulfídrico de 31,4 ppm.

Nota-se que esse tipo de filtro teve uma considerável influência se comparado ao protótipo biodigestor 1. Apresentando uma melhor retenção do gás carbônico assim como uma diminuição na concentração de gás sulfídrico presente no biogás.

**Tabela 4.** Dados obtidos com o sistema UNIBIO para o biodigestor 02 (Filtro de água)

<b>Ciclo</b>	<b>Tempo de saturação (dias)</b>	<b>Pressão do gasômetro (kPa)</b>	<b>CH<sub>4</sub> (ppm)</b>	<b>Gás Carbônico (ppm)</b>	<b>H<sub>2</sub>S (ppm)</b>
<b>1</b>	<b>23</b>	<b>4</b>	<b>8476</b>	<b>4600</b>	<b>29,5</b>
<b>2</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>8605</b>	<b>4600</b>	<b>29,4</b>
<b>3</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>8594</b>	<b>4600</b>	<b>32,8</b>
<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>8608</b>	<b>4600</b>	<b>31,3</b>
<b>5</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>8596</b>	<b>4600</b>	<b>34,1</b>
<b>Valor Médio</b>			<b>8576</b>	<b>4600</b>	<b>31,4</b>

Na figura 11 apresenta-se graficamente o comportamento do biodigestor 02. Se observam novamente os ciclos do experimento pelos motivos já expostos (a pressão alta no fim do ciclo que poderia provocar uma explosão). Cada ciclo é similar ao anterior, mas apresenta a diferença no tempo em que se atinge a saturação. Isto se deve a que o metano precisa de pelo menos 18 a 21 dias para atingir um máximo e que após 45 a 50 dias a produção de metano termina. Isto concorda com a literatura (Alcócer et al 2014). Após o ciclo 5 os gráficos ficam constantes porque não há mais produção de biogás.

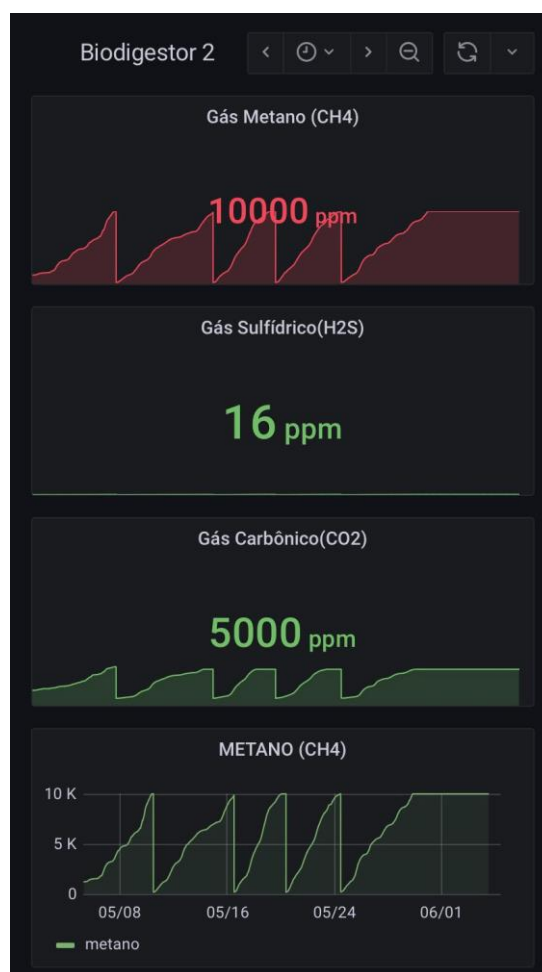


Figura 11. Tela do dispositivo desenvolvido para medições nos Biodigestores. Tela UNIBIO para o biodigestor número 02. Fonte: Andrade 2021

O terceiro biodigestor apresentava um filtro sólido composto por uma coluna de esponja de aço carbono, além de um segundo filtro composto por água. Apresentando, tal e como pode-se observar na tabela 5, a seguinte relação média entre as leituras dos gases monitorados presentes no biogás:

- i) Gás Metano: 66,77% ,
- ii) Gás Carbônico: 33,11% e
- iii) gás sulfídrico 0,1%.

Nota-se que esse tipo de filtro também teve uma considerável influência nos parâmetros do biogás medido se comparado ao protótipo biodigestor 1 apresentando uma melhor retenção de gás carbônico. E uma melhor retenção de sulfetos de comparado ao biodigestor 2 reduzindo os valores presentes de gás sulfídrico no biogás.

**Tabela 5.** Dados obtidos com o sistema UNIBIO para o biodigestor 03 (Filtro de água mais filtro de esponja de aço)

Ciclo	Tempo de saturação (dias)	Pressão do gasômetro (kPa)	CH <sub>4</sub> (ppm)	Gás Carbônico (ppm)	H <sub>2</sub> S (ppm)
1	24	4	9052	4600	16,1
2	6	4	9333	4600	16,6
3	3	4	9337	4600	17,5
4	4	4	9327	4600	16,7
5	5	4	9339	4600	16,3
<b>Valor Médio</b>			<b>9278</b>	<b>4600</b>	<b>16,6</b>

O quarto biodigestor apresentava um filtro sólido composto por uma coluna de palha de aço, além de um segundo filtro composto por água. Apresentando, tal e como pode-se observar na tabela 6, a seguinte relação média entre as leituras dos gases monitorados presentes no biogás:

- iv) Gás Metano: 66,08 % ,
- v) Gás Carbônico: 33,78 % e
- vi) gás sulfídrico 0,13 %.

Pode-se observar que esse tipo de filtro também teve uma considerável influência nos parâmetros do biogás medido quando comparado ao biodigestor 1 apresentando uma melhor retenção de gás carbônico. E uma melhor retenção de sulfetos de comparado ao biodigestor 2

reduzindo os valores presentes de gás sulfídrico no biogás.

**Tabela 6.** Dados obtidos com o sistema UNIBIO para o biodigestor 0 (Filtro de água mais filtro de palha de aço)

Ciclo	Tempo de saturação (dias)	Pressão do gasômetro (kPa)	CH <sub>4</sub> (ppm)	Gás Carbônico (ppm)	H <sub>2</sub> S (ppm)
1	24	4	8870	4600	17,7
2	6	4	9031	4600	17,9
3	3	4	9034	4600	17,4
4	4	4	9035	4600	18,8
5	5	4	9022	4600	20,2
<b>Valor Médio</b>			<b>8998</b>	<b>4600</b>	<b>18,4</b>

Na figura 12 apresenta-se graficamente o comportamento dos biodigestores 03 e 04. Se observam novamente os ciclos do experimento pelos motivos já expostos (a pressão alta no fim do ciclo que poderia provocar uma explosão). Cada ciclo é similar ao anterior, mas apresenta a diferença no tempo em que se atinge a saturação. Isto se deve a que o metano precisa de pelo menos 18 a 21 dias para atingir um máximo e que após 45 a 50 dias a produção de metano termina. Isto concorda com a literatura (Alcócer et al 2014). Após o ciclo 5 os gráficos ficam constantes porque não há mais produção de biogás.



Figura 12. (a) Tela do dispositivo desenvolvido para medições nos Biodigestores. Tela UNIBIO

03. (b) Tela do dispositivo desenvolvido para medições nos Biodigestores. Tela UNIBIO 04.  
Fonte: Andrade 2021

Vamos fazer a consolidação das informações dos 4 biodigestores. O resultado se apresenta na tabela 7. Pode-se observar que o biodigestor 3 (com filtro de água e esponja de aço) apresentou o melhor desempenho na filtragem do H<sub>2</sub>S quanto na produção de metano. O segundo melhor desempenho na filtragem do H<sub>2</sub>S é o quarto biodigestor, cujo filtro é água e palha de aço.

O biodigestor 1, utilizado como a referência para a geração do biogás de forma natural sem um sistema de filtragem, apresentou os seguintes valores aproximados na relação de gases:

- (i) Gás Metano (60,73%),
- (ii) Gás Carbônico (38,53%),
- (iii) Gás Sulfídrico (88ppm).

Segundo Alcócer *et al.* (2019) os valores esperados para a composição do biogás gerado a partir de esterco bovino variam entre os valores: (a) Gás Metano (de 55% a 75%), (b) Dióxido de Carbono (25% a 45%), (c) Gás Sulfídrico (<1%) (d) outros gases (<5%).

Os valores obtidos no biodigestor 1 estão como se pode ver dentro das margens esperadas na literatura para o tipo de biomassa envolvida que no caso é o esterco bovino fresco.

**Tabela 7.** Resultado consolidado de todos os dispositivos (biodigestores 1,2,3 e 4)

<b>Biodigestor</b>	<b>Filtro</b>	<b>Metano (ppm)</b>	<b>Gás Carbônico (ppm)</b>	<b>H<sub>2</sub>S (ppm)</b>
<b>1</b>	<b>SEM</b>	<b>7251</b>	<b>4600</b>	<b>88</b>
<b>2</b>	<b>ÁGUA</b>	<b>8576</b>	<b>4600</b>	<b>31,4</b>
<b>3</b>	<b>ÁGUA mais esponja de aço</b>	<b>9278</b>	<b>4600</b>	<b>16,6</b>
<b>4</b>	<b>ÁGUA mais palha de aço</b>	<b>8998</b>	<b>4600</b>	<b>18,4</b>

A partir da tabela 7 se verifica que o biodigestor com melhor desempenho na filtragem do biogás para uma maior retenção de gás carbônico e com uma menor presença de sulfeto de hidrogênio, foi o biodigestor 3, que possuía a combinação de filtro de água com filtro de esponja de aço. Apresentou Gás Metano na proporção (66,77 %) e Gás Carbônico na proporção de (33,11%), além de Gás Sulfídrico na concentração de (16,6 ppm). O desempenho foi de aproximadamente 81% de retenção do H<sub>2</sub>S e 14% de retenção de CO<sub>2</sub>, se comparado com os resultados do dispositivo de referência (biodigestor 1).

O biodigestor 4, cujo sistema de filtros é composto por água e palha de aço, ficou com o segundo melhor rendimento entre todos os biodigestores do experimento. Tendo um desempenho aproximado de 12% para retenção do CO<sub>2</sub> e 79% em retenção de H<sub>2</sub>S se

comparado com os resultados do biodigestor 1.

O biodigestor 2 com um filtro líquido para o biogás composta por uma coluna de água teve o terceiro rendimento em filtragem com desempenho aproximado de 10% para retenção do CO<sub>2</sub> e 64% em retenção de H<sub>2</sub>S se comparado com os resultados do biodigestor 1.

O sistema UNIBIO permitiu também a visualização detalhada de outros parâmetros do biodigestor tais como a variação de temperatura e umidade relativa do ar no biodigestor. A tela do dispositivo computacional para o biodigestor 1 se apresenta na figura 13.

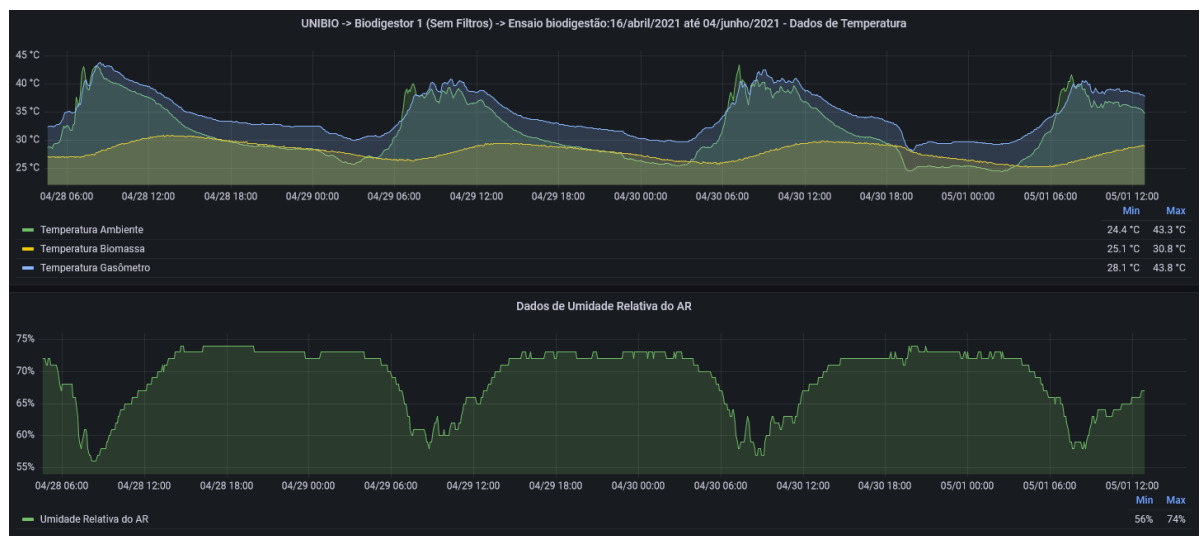


Figura 13. Gráfico de Dados: BIODIGESTOR 1 – Temperatura + Umidade

Quanto aos dados de temperatura analisados para o biodigestor 1 pode-se inferir que a biomassa atingiu uma temperatura mínima de 23,1°C e uma temperatura máxima de 30,8°C durante todo o ciclo de biodigestão anaeróbia ficando assim dentro de uma faixa segura para o processo de biodigestão que é entre 15°C e 40°C (SOUZA, 1984). Na figura 15(a) pode-se observar a temperatura da Biomassa, para os quatro biodigestores analisados, e na figura 14 (b) também a temperatura em graus Celsius do Gasômetro dos quatro biodigestores analisados.

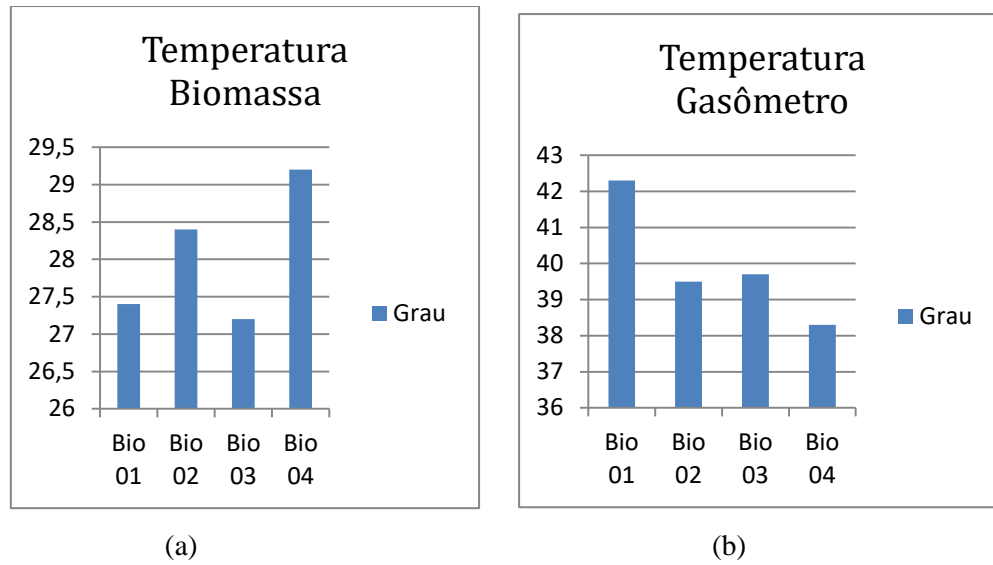


Figura 14. (a) Temperatura em graus Celsius da Biomassa observada nos quatro Biodigestores. (b) Temperatura do Gasômetro em graus celsius observada nos quatro Biodigestores.

## 5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Pode-se observar que os filtros combinados apresentam uma eficiência boa no tratamento dos gases dos biodigestores. No caso do UNIBIO 03, em que o filtro de água foi combinado com a esponja de aço a diminuição da concentração de sulfeto de hidrogênio apresentou um valor significativo quando comparado só com o filtro de água, e se comparado com os demais filtros encontrados nos outros Biodigestores, o resultado foi também muito satisfatório.

O esterco bovino utilizado nos experimentos apresentou uma produção de boa qualidade dos gases já que o metano foi produzido em quantidades superiores aos 65% e a filtragem combinada ajudou a elevar esta percentagem.

Quanto aos custos dos biodigestores produzidos para esta pesquisa, pode-se afirmar que os mesmos apresentam valores relativamente baixos para sua produção, sendo assim acessível aos pequenos produtores do campo. Ressalta-se que os Biodigestores com as proporções aqui descritas atenderam bem aos requisitos deste trabalho, podendo ser adaptado para uma demanda maior de Biogás.

Os filtros analisados demonstraram uma boa eficiência, sendo que os filtros do Biodigestor 03 apresentaram melhor eficiência se comparados entre eles.

Os resultados obtidos e apresentados neste trabalho são análises feitas com cautela e responsabilidade para garantir dados seguros e responder interrogantes desta pesquisa tais como os custos – benefícios dos filtros, a saturação dos filtros, dentre outras informações pertinentes e relevantes ao tema proposto.

Como trabalho futuro se sugere a realização de vários experimentos com vários ciclos para poder ter uma maior confiabilidade estatística. Pode-se também realizar as experiências com outros tipos de filtros e podem-se variar os materiais utilizados para ver qual é o melhor aço para poder ter um filtro melhor.



## REFERÊNCIAS

- ALCÓCER, J. C. A.; DUARTE, J. B. F.; M. J. Cajazeiras; M. L. M. de Oliveira; R. G. Duarte; ROCHA, Y.M. G.; PONTES, B. C. M.; J. DUARTE; I. HOLANDA; QUEIROZ, D. M. B.; RAMOS, K. M.; J. O. DIOGO; G. N. DANTAS Produzindo Biogás a partir de Resíduos de Frutas para Gerar Energia Elétrica. *Revista SODEBRAS.* , v.9, 2014.
- ALCÓCER, J. C. A.; PINTO, O. R. O.; SILVA, M. L.; QUEIROZ, D. M. B. BIODIGESTORES RURAIS: Uma alternativa à sustentabilidade ambiental? Fortaleza: IMPRECE, 2019.
- ANDRADE, F. P. H. DE. Dissertação de Mestrado, UNILAB, 2021. Comunicado interno.
- BANSAL, T.; TRIPATHI, N.; CHAWLA, G. Upgradation of biogas using combined method of alkaline water scrubbing and adsorption through carbon molecular sieve. *International Journal of Chemtech Research*, v. 5, n. 2, p. 886– 890, 2013.
- BARICHELO, R., HOFFMANN, R., DA SILVA, S. O. C., DEIMLING, M. F., & FILHO, N. C. (2015). O uso de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais com ênfase na agregação de valor: um estudo de caso na região Noroeste do Rio Grande do Sul. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, 8(2), 333–355. <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2015v8n2p333-355>. Acesso em: 15 outubro, 2020.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução – CONAMA. Resolução no 375/2006. Define critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília, n. 167, p. 141-146, 30 ago 2006.
- CALZA, L. F., LIMA, C. B., NOGUEIRA, C. E. C., SIQUEIRA, J. A. C., & SANTOS, R. F. (2015). Avaliação dos custos de implantação de biodigestores e da energia produzida pelo biogás. *Engenharia Agrícola*, 4430(6), 990–997. <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v35n6p990-997/2015>. Acesso em: 20 outubro, 2020.

- CARVALHO, E. S., NESKE, D. A. L., SALZER, E., & JOHANN, J. A. (2017). Viabilidade e benefícios de implantação de pequenos biodigestores em propriedades de agricultura familiar. In: Anais do VI SINGEP. São Paulo, São Paulo, Brasil, 13 e 14 novembro de 2017. <https://singep.org.br/6singep/resultado/324.pdf>. Acesso em: 20 agosto, 2020.
- COSTA, C. C., & GUILHOTO J. J. M. (2014). Saneamento rural no Brasil: impacto da fossa séptica biodigestora. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 19 (spe), 51-60.
- DEVAI, I.; DELAUNE, R.D. Effectiveness of selected chemicals for controlling emission of malodorous sulfur gases in sewage sludge. *Environmental Technology*, n.3, p.319-329, 2002.
- DHANALAKSHMI, S. V.; RAMANUJAM, R. A. Biogas generation in a vegetable waste anaerobic digester: An analytical approach. *Research Journal of Recent Sciences* , v.1, n.3, p.41-47, 2012.
- DOLEJS, P.; POSTULKA, V.; SEDLAKOVA, Z.; et al. Simultaneous hydrogen sulphide and carbon dioxide removal from biogas by water-swollen reverse osmosis membrane. *Separation and Purification Technology*, v. 131, p. 108 116, 2014.
- FRARE, LAERCIO M. et al. Hydrogen sulfide removal from biogas using Fe/EDTA solutin: gas/liquid contacting and sulfur formation. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, v. 29, No.1, April, 2009.
- GALVÃO, A. C. JR. (2009). Desafios para a universalização dos serviços de água e esgoto no Brasil. *Revista Panamericana de Salud Publica*, 25(6), 548–56.
- GOMES, T., & RAIHER, A. (2013). Viabilidade econômica da produção de biogás de dejetos suínos: um estudo de caso. *Revista Ciências Administrativas*, 19(2), 776–815. <https://doi.org/10.5020/2318-0722.2013.v19n2p776>. Acesso em: 18 dezembro, 2020.
- GONÇALVES, E.; POLTRONIERI, F.G; CASSARO, G.; ARALDI, L.F.M.; PULGA, R.R.; VISOLI, C. Análise da instalação de um sistema de sobrealimentação em um motor ciclo diesel. *Anais da Engenharia Mecânica/ISSN 2594-4649*, v. 3, n. 2, p. 18-40, 2018.

HINTON, N.; STONE, R. Laminar burning velocity measurements of methane and carbon dioxide mixtures (biogas) over wide ranging temperatures and pressures. *Fuel*, Volume 116, 15 January 2014, Pages 743-750, ISSN 0016-2361

HORIKAWA, M. S.; ROSSI, F.; GIMENES, M. L.; COSTA, C. M. M.; SILVA, M. G. C. Chemical Absorption of H<sub>2</sub>S for Biogas Purification. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, v. 21, v. 03, pp. 415 - 422. 2004.

LEMMER, A.; CHEN, Y.; WONNEBERGER, A.-M.; GRAF, F.; REIMERT, R. Integration of a Water Scrubbing Technique and Two-Stage Pressurized Anaerobic Digestion in One Process. *Energies*, v. 8, n. 3, p. 2048–2065, 2015.

MARCATO, S. M., & LIMA, G. J. M. M. (2005). Efeito da restrição alimentar como redutor do poder poluente dos dejetos de suíno. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 34 (3), 855-863

McKINSEY Z. S. Removal of hydrogen sulfide from biogas using cow-manure compost. Dissertação de mestrado. Faculty of the Graduate School of Cornell University, 2003.

MONTORO, S. B., SANTOS, D. F. L., & LUCAS JUNIOR, J. DE. (2017). Economic and financial of digester use in cattle confinement for beef. *Engenharia Agrícola*, 37(2), 353–365. <https://doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v37n2p353-365/2017>. Acesso em: 15 janeiro, 2021.

NOGUEIRA, R. E. G., DAMIN, S., MAGGI, M. F., LIMA, A. S., & JADOSKI, S. O. (2015). Destinação dos resíduos sólidos de atividade agropecuária e riscos de poluição ambiental em comunidade do município de Cascavél – Paraná. *Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science*, 8 (3), 93-101.

OLIVEIRA, P. A. V. de. Produção e aproveitamento do biogás. In: OLIVEIRA, P. A. V. de et al. *Tecnologias para o manejo de resíduos na produção de suínos: Manual de boas praticas*. Concórdia: Gestão Integrada de Ativos Ambientais, 2004. Cap. 4, p. 42-55.

OLIVEIRA, RAFAEL DELÉO. Geração de energia elétrica a partir do biogás produzido pela fermentação anaeróbia de dejetos em abatedouro e as possibilidades no mercado de carbono. 2009. Monografia - EESC/USP - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos.

PEREIRA, M. F. (1986). Construções rurais. São Paulo: Nobel.

PERDOMO, C. C.. Alternativas para o manejo e tratamento de dejetos de suínos. Concórdia: EMBRAPA - CNPSA, 2001. 19 p. PRAKASAN, K.; Carvalho R. FILHO, J. V.; PERAZZO NETO, A.. Tecnologia do Biogás. Areia: Universidade Federal da Paraíba, 1984. 94 p.

REIS, A. D. Tratamento de resíduos sólidos orgânicos em biodigestor anaeróbio. 2012. Universidade Federal de Pernambuco - Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental. Caruaru.

RIZZONI, Leandro Becalet et al. Biodigestão anaeróbia no tratamento de dejetos de suínos. Revista Científica Eletrônica De Medicina Veterinária, Alfenas, Mg, p.7-8, 18 jan. 2012. Semestral. Disponível em: Acesso em: 22 setembro, 2020.

SANTOS, E. L., BARBOSA, J. H., MELO, M. J., PEREIRA JÚNIOR, D. A., MEDEIROS, C. S., & SANTOS, I. V. S. (2017). Uma alternativa energética e ambientalmente sustentável ao agricultor familiar: dia de campo sobre biodigestores rurais. *Diversitas Journal*, 2(1), 32-38.

SILVA, A. R. DA, & CIRANI, C. B. S. (2016). Viabilidade Econômica e Benefícios ambientais de tecnologia aplicada a biodigestores em empresas processadoras de mandioca no Paraná. *Revista Eletrônica de Estratégia & Negócios*, 9, 22–53. <https://doi.org/10.19177/reen.v9e3201622-53>. Acesso em: 12 fevereiro, 2021.

SMITH, M. T., SCHROENN G. J., & BLIGNAUT, J. N. (2014). The financial and economic feasibility of rural household biodigesters for poor communities in South Africa. *Waste Management*, 34 (2), 352–362.

TORRES, A.; PEDROSA, J. F.; MOURA, J. P. Fundamentos de implantação de biodigestores em propriedades rurais. *Revista Educação Ambiental em Ação*. Número 40, Ano XI. Junho-Agosto/2012.

TORRES M. L., LLORENS M.. D. C. E. Effect of alkaline pretreatment on anaerobic digestion of solid wastes, Volume 28, Issue 11, Pages 2229–2234, 2008.

TYNELL, Å.; BÖRJESSON, G.; PERSSON, M. Microbial growth on pall rings: A problem when upgrading biogas with the water-wash absorption technique. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, v. 141, n. 2-3, p. 299-319, 2007.

VISWANATH P., SUMITHRA DEVI S., NAND K., Anaerobic digestion of fruit and vegetable processing wastes for biogas production. *Bioresource Technology*. v, 40, 2003.

# APÊNDICES

## Apêndice 01.



Fotografia dos Preparativos Para Início dos Trabalhos do Experimento



Fotografia dos Biodigestores em Operação

## Apêndice 02.



Foto do equipamento GEM5000



## Apêndice 03.

BIODIGESTOR 1					
HORA		09:46	09:46	09:46	09:46
CH4	%	57,4	57,2	56,7	56,2
CO2	%	16,4	16,3	16,2	16,1
O2	%	5,3	5,3	5,3	5,4
CO	ppm	39	39	39	39
H2S	ppm	8	8	8	8
Bal	%	20,9	21,2	21,8	22,3
M + C	%	77,68	77,37	76,74	76,11
M%	%	73,89	73,93	73,89	73,85
C%	%	21,11	21,07	21,11	21,15

BIODIGESTOR 2					
HORA		09:44	09:44	09:44	09:44
CH4	%	41	40,9	40,8	40,2
CO2	%	9,3	9,3	9,3	9,2
O2	%	11,8	11,7	11,6	11,4
CO	ppm	180	183	185	187
H2S	ppm	13	14	14	16
Bal	%	38	38,2	38,4	39,2
M + C	%	52,95	52,84	52,74	52,00
M%	%	77,44	77,40	77,37	77,31
C%	%	17,56	17,60	17,63	17,69

BIODIGESTOR 3					
HORA		09:41	09:41	09:41	09:41
CH4	%	43,3	39,7	39,8	39,8
CO2	%	3,2	3	3	3
O2	%	20,3	16	14,2	14
CO	ppm	30	131	179	187
H2S	ppm	8	10	14	15
Bal	%	33,1	41,3	43	43,2
M + C	%	48,95	44,95	45,05	45,05
M%	%	88,46	88,33	88,34	88,34
C%	%	6,54	6,67	6,66	6,66

BIODIGESTOR 4					
HORA		09:39	09:39	09:39	09:39
CH4	%	32	32,8	33,1	32
CO2	%	4,5	4,7	4,7	4,6
O2	%	16,1	14,2	13,7	13,8
CO	ppm	121	162	174	170
H2S	ppm	3	8	14	18
Bal	%	47,4	48,3	48,5	49,6
M + C	%	38,42	39,47	39,79	38,53
M%	%	83,29	83,09	83,19	83,06
C%	%	11,71	11,91	11,81	11,94

CH4	Percentual de Gás Metano no Gasômetro
CO2	Percentual de Gás carbônico no Gasômetro
O2	Percentual de Gás Oxigênio no Gasômetro
CO	Concentração de Monóxido de Carbono
H2S	Concentração de Gás Sulfídrico

Bal	Balanco Residual N2 - Nitrogênio
M + C	Biogás Ajustado: CH4+CO2=95%; outros Gases=5%.
M%	Percentual Gás Metano Ajustado
C%	Percentual Gás Carbônico Ajustado

Valores das leituras realizadas pelo GEM5000

## Apêndice 04

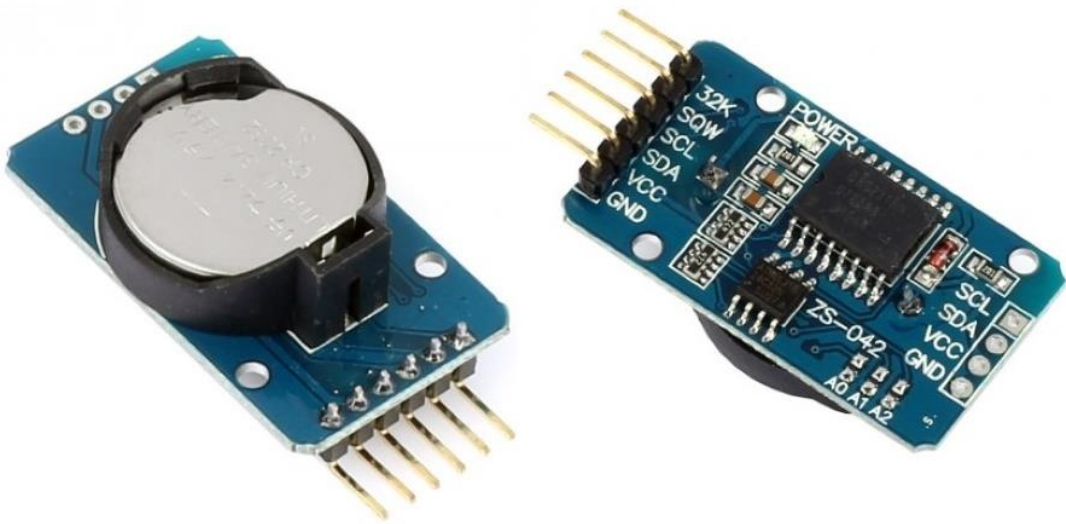
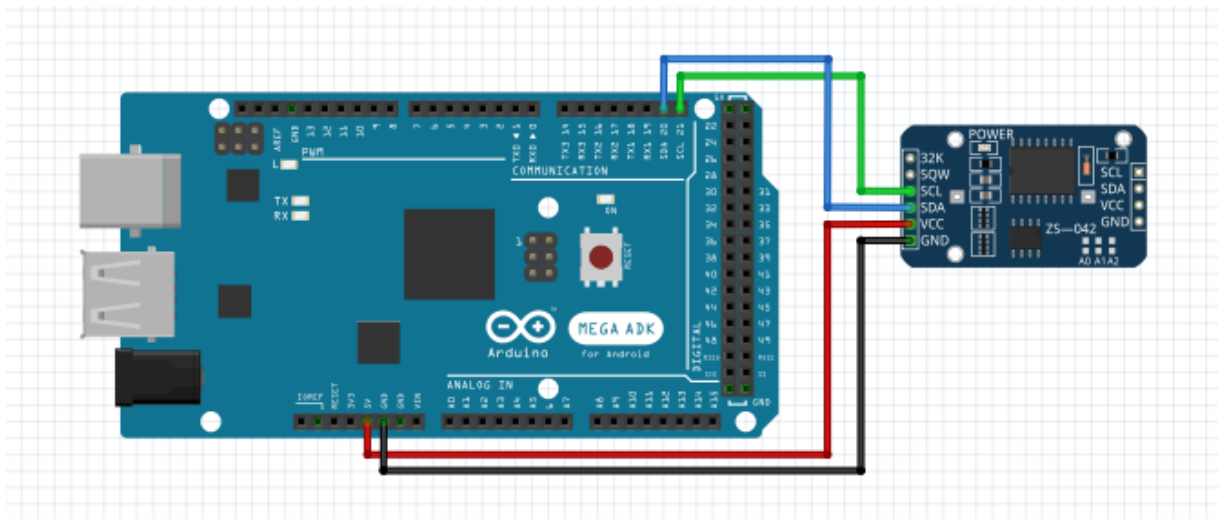


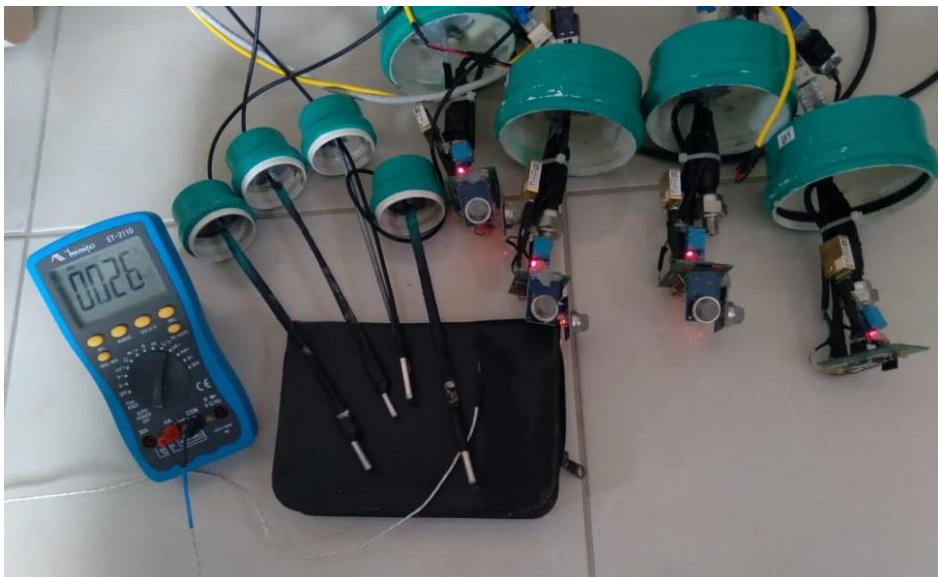
Foto de alguns dos sensores utilizados.

## Apêndice 05



**Foto dos componentes eletrônicos utilizados**

## Apêndice 06



Calibração dos sensores

## Apêndice 07



Modelo de referência: Biodigestor batelada



## Apêndice 09



The image shows a login screen for the UNIBIO system. At the top, there is a logo for UNIBIO, which includes a speedometer icon and a leaf icon. Below the logo, the text "Entrar no Sistema" is displayed. There are two input fields: "Usuário" (User) and "Senha" (Password). Below the password field, there is a checkbox labeled "Remember me". A blue button labeled "Entrar" (Enter) is positioned below the checkbox. At the bottom, there is a copyright notice "© UNIBIO".

**UNIBIO**

### Entrar no Sistema

Usuário

Senha

Remember me

**Entrar**

© UNIBIO

Tela inicial de Login