

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E MECÂNICA**

**Ruan Silva de Deus**

**DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPO DE BIODIGESTOR DE  
PEQUENO PORTE COM IMPLEMENTAÇÃO DE RECURSOS PARA  
MELHORIA DE EFICIÊNCIA**

Juiz de Fora

2020



Ruan Silva de Deus

**DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPO DE BIODIGESTOR DE  
PEQUENO PORTE COM IMPLEMENTAÇÃO DE RECURSOS PARA  
MELHORIA DE EFICIÊNCIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia de Produção e Mecânica da Universidade Federal de Juiz de Fora , como requisito parcial para a conclusão do curso de graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Juiz de Fora.

Orientador: Dr. Raphael Fortes Marcomini

Coorientador: MSc. Matheus Pereira Antunes

Juiz de Fora

2020

Ficha catalográfica elaborada através do Modelo Latex do CDC da UFJF  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Silva de Deus, Ruan.

DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPO DE BIODIGESTOR DE  
PEQUENO PORTE COM IMPLEMENTAÇÃO DE RECURSOS PARA  
MELHORIA DE EFICIÊNCIA / Ruan Silva de Deus. – 2020.

50 f. : il.

Orientador: Raphael Fortes Marcomini

Coorientador: Matheus Pereira Antunes

Trabalho de Conclusão de curso (graduação) – Universidade Federal de  
Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia. Departamento de Engenharia de  
Produção e Mecânica, 2020.

1. Palavra-chave. 2. Palavra-chave. 3. Palavra-chave. I. Sobrenome,  
Nome do orientador, orient. II. Título.

Ruan Silva de Deus

**DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPO DE BIODIGESTOR DE  
PEQUENO PORTE COM IMPLEMENTAÇÃO DE RECURSOS PARA  
MELHORIA DE EFICIÊNCIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia de Produção e Mecânica da Universidade Federal de Juiz de Fora , como requisito parcial para a conclusão do curso de graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Juiz de Fora.

Aprovada em 25 de novembro de 2020

**BANCA EXAMINADORA**

---

Dr. Raphael Fortes Marcomini - Orientador  
Universidade Federal de Juiz de Fora

---

MSc. Matheus Pereira Antunes - Coorientador  
Universidade Federal de Juiz de Fora

---

Dr. Sue Ellen Costa Bottrel  
Universidade Federal de Juiz de Fora



## RESUMO

O presente trabalho consiste no desenvolvimento de um protótipo de biodigestor que seja capaz de manter sua operação em condições ideais, fazendo assim que seu rendimento chegue ao seu real potencial. Estudando a literatura e tendo como modelo real de estudo e observação o biodigestor instalado no campo experimental da Embrapa Gado de Leite, localizada na cidade de Coronel Pacheco, Minas Gerais, foi possível chegar a duas necessidades críticas que foram foco do desenvolvimento das melhorias do protótipo, sendo elas, o controle da temperatura interna do biodigestor e a agitação do material, também no interior do mesmo. Diante disso foi totalmente fabricado um misturador de hélice responsável pela agitação do material, além do desenvolvido de um sistema de leitura e controle de temperatura, garantindo que este parâmetro permaneça dentro de uma faixa ótima de operação, sendo ambos sistemas automatizados e controlados por Arduino. A fase de fabricação foi terminada, testes de funcionamento e pré-montagem foram concluídos e o protótipo se encontra instalado em uma propriedade de pequeno porte para validações de funcionamento e análise de eficiência.

Palavras-chave: Biodigestor. Protótipo. Eficiência.



## ABSTRACT

The present work consists of the development of a prototype of biodigester that is able to keep it operating in ideal conditions, thus making its service reach its real potential. Studying the literature and using the biodigester installed in the Embrapa Gadode Leite experimental field, located in the city of Coronel Pacheco, Minas Gerais, as a real model for study and observation, it was possible to reach your critical needs that were the focus of the development of the prototype improvements. , the control of the internal temperature of the biodigester and the agitation of the material, also inside it. Therefore, a propeller mixer responsible for the agitation of the material was fully manufactured, in addition to the development of a reading and temperature control system, ensuring that this parameter remains within an optimal range of operation, both systems being automated and controlled by Arduino. The manufacturing phase has been completed, functional tests and pre-assembly have been completed and the prototype is installed on a small property for validation of operation and efficiency analysis.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 - Potencial de produção de Biometano. . . . .           | 19 |
| Figura 2 - Etapas de produção do biogás. . . . .                 | 20 |
| Figura 3 - Efeito da temperatura na produção do biogás. . . . .  | 22 |
| Figura 4 - Representação de Biodigestor Modelo Indiano. . . . .  | 24 |
| Figura 5 -Representação de Biodigestor Modelo Chinês. . . . .    | 25 |
| Figura 6 -Representação de Biodigestor Modelo Canadense. . . . . | 26 |
| Figura 7 -Arduino UNO. . . . .                                   | 27 |
| Figura 8 -Funcionamento do protótipo. . . . .                    | 29 |
| Figura 9 -Caixa d'água que será utilizada como digestor. . . . . | 30 |
| Figura 10 - Teste misturador. . . . .                            | 31 |
| Figura 11 - Suporte do motor. . . . .                            | 32 |
| Figura 12 - Pré montagem. . . . .                                | 32 |
| Figura 13 - Acoplamento de eixo. . . . .                         | 36 |
| Figura 14 - Hélice. . . . .                                      | 36 |
| Figura 15 - Capa térmica. . . . .                                | 37 |
| Figura 16 - Protótipo instalado. . . . .                         | 38 |
| Figura 17 - Digestor. . . . .                                    | 39 |
| 18 - Representação 3D . . . . .                                  | 49 |
| 19 - Vista superior . . . . .                                    | 50 |



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Teor de gases gerados na biodigestão de resíduos da pecuária leiteira. 19



## SUMÁRIO

|          |                                                         |           |
|----------|---------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO . . . . .</b>                             | <b>15</b> |
| <b>2</b> | <b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA . . . . .</b>                  | <b>17</b> |
| 2.1      | BIODIGESTORES . . . . .                                 | 17        |
| 2.2      | ARDUÍNO . . . . .                                       | 26        |
| 2.2.1    | A plataforma . . . . .                                  | 26        |
| <b>3</b> | <b>METODOLOGIA . . . . .</b>                            | <b>29</b> |
| <b>4</b> | <b>TESTES E RESULTADOS . . . . .</b>                    | <b>35</b> |
| <b>5</b> | <b>CONCLUSÃO . . . . .</b>                              | <b>41</b> |
| 5.1      | SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS . . . . .              | 41        |
|          | <b>REFERÊNCIAS . . . . .</b>                            | <b>43</b> |
|          | APÊNDICE A – Código do controlador . . . . .            | 47        |
|          | APÊNDICE A – Projeto Suporte – Formato .gcode . . . . . | 49        |



## 1 INTRODUÇÃO

Um marco importante que causou grande mudança no comportamento e nas necessidades da sociedade, data do final do século XIX e é conhecida como Revolução Industrial. Com ela, veio o aumento da utilização de recursos não renováveis para a geração de energia, principalmente petróleo e seus derivados, carvão e gás natural. Acontece que a queima desses combustíveis é extremamente prejudicial ao meio ambiente, uma vez que os principais gases provenientes dela são dióxido de carbono, monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio e hidrocarbonetos não queimados, gases esses que são apontados como dos principais poluentes da atmosfera, agravantes do efeito estufa e causadores de doenças respiratórias.

O fato de tais recursos serem limitados e causadores de sérios prejuízos ao meio ambiente e à vida humana, fez com houvesse a necessidade da diminuição da sua utilização, que hoje compõe a base da matriz energética mundial. Com isso, aumenta cada dia a busca por fontes de energia renováveis e tecnologias sustentáveis que possibilitem uma relação mais harmoniosa entre humanidade e meio ambiente.

Dentro deste cenário, o biodigestor entra como uma boa opção, sendo que a biomassa que serve de matéria prima para a produção de biogás representa um grande problema quando descartada de forma incorreta, causando doenças, contaminação do ambiente e sua decomposição libera gases causadores de efeito estufa. Para exemplificar em um campo que fica claro o amplo potencial de utilização dessa tecnologia é no setor pecuário, que tem responsabilidade significativa na emissão de gases causadores de efeito estufa na atmosfera e o biodigestor atuaria impedindo que esses gases fossem liberados, além de gerar energia a partir do biogás e ainda ter também como produto o fertilizante, que é de grande utilidade nesse setor.

A partir da observação de algumas deficiências presentes nos biodigestores do meio rural, mais especificamente naqueles utilizados por produtores de leite, foi detectada a oportunidade de implementar melhorias para torna-lo mais eficiente. Além do fato de não existir no mercado equipamentos que supram essas carências, o produtor que deseja ter um biodigestor em sua propriedade não tem acesso fácil à informação e é pouco amparado pelos vendedores a respeito da instalação e também na operação do equipamento. Diante disso, foi desenvolvido um protótipo de biodigestor diretamente voltado para a aplicação ao mercado lácteo, este que tem grande potencial devido à sua representatividade no setor agropecuário e também à tendência de manter os animais em regime de confinamento, o que confere uma ampla disponibilidade de biomassa para a alimentação do biodigestor. Além de destinar essa matéria orgânica de forma eficiente e sustentável a partir da energia gerada pelo biogás, o produtor consegue reduzir custos de operação. Tendo em vista que a margem de lucro do leite é muito baixa, é de grande valor para o produtor ter

esse equipamento em sua propriedade funcionando de forma eficiente e que ele possa ser facilmente operado.

Para torná-lo mais eficiente de fato, foi preciso analisar quais dessas deficiências tinham influência mais direta no rendimento do biodigestor. Para tal análise, foi usado como referência o biodigestor instalado no campo experimental da Embrapa Gado de Leite, localizada em Coronel Pacheco, Minas Gerais. A partir disso, ficou nítido que a variação da temperatura do meio externo fazia com que a temperatura interna variasse também, e mesmo com o sistema enterrado, a fim de minimizar esse problema, isso não era suficiente para que não ocorresse essa queda no rendimento. Um exemplo claro dessa interferência, é a diferença de produção entre o verão e o inverno. O estudo realizado por Soares (2017) apresenta como resultado uma redução na produção de 32% no inverno quando comparado a produção no período do verão.

Diante desse cenário, o desenvolvimento de melhorias foi direcionado para estes pontos. Assim, o protótipo apresenta controle de temperatura totalmente automatizado a fim de manter a temperatura dentro de uma faixa onde a produção de biogás se mostra mais eficiente, independente das variações de temperatura do meio externo. Para resolver o segundo problema, o protótipo conta com um misturador de hélice, que também tem acionamento automatizado que garante o aumento do contato entre a biomassa e o substrato, inibindo assim a formação de espuma. O fato de essas ações acontecerem de maneira automática, faz com que a operação do equipamento seja facilitada e mais eficiente.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 BIODIGESTORES

Biodigestores são reatores que tem por finalidade a geração de energia através da decomposição de matéria orgânica, matéria essa, também chamada de substrato, pode ser de origem animal ou vegetal, como por exemplo fezes de animais em geral e resíduos vegetais lenhosos ou não lenhosos incluindo resíduos orgânicos urbanos, agrícolas e industriais. A energia gerada no biodigestor se dá na forma de biogás, produto gasoso inflamável composto principalmente por metano e dióxido de carbono, que é o resultado de um processo chamado biodigestão anaeróbica, tal produto pode ser usado para a geração de energia térmica, elétrica e até mesmo na produção de diesel sintético.

É fácil pensar que as demandas da sociedade aumentam de acordo com o seu desenvolvimento, a questão energética não fica de fora, e em geral, tal desenvolvimento se deu de forma descontrolada, extraindo recursos de maneira exacerbada e causando enormes prejuízos ao meio ambiente não só pela extração, mas também pela queima desses recursos para a geração de energia.

O conhecimento da existência do biometano e a sua manipulação não é recente, ele era inicialmente chamado de gás de pântano, pois estes ambientes são ricos em matéria orgânica e a decomposição desse material em condições anaeróbicas produz esse tal gás que tem característica inflamável devido à presença de metano na sua composição, este mesmo elemento é encontrado no gás natural, a diferença é que ele leva milhões de anos para ser produzido, já o biometano leva questão de dias (WEISMAN, 2011).

Jean Baptista van Helmont foi quem fez a primeira constatação científica de que a partir da decomposição de matéria orgânica era produzido um gás inflamável, isso por volta de 1630. No Reino Unido, em 1667, foi observado por Thomas Shirley a presença de gás inflamável em uma mina de carvão (TIETJEN, 1975).

Benjamin Franklin, em 1764 colocou fogo na superfície de um lago pantanoso dos Estados Unidos em um experimento que ele mesmo produziu. Posteriormente, em 1790, Joseph Priestley publicou resultados desse experimento com a observação de um gás inflamável (TIETJEN, 1975). No ano de 1776, Alessandro Volta publicou estudos demonstrando a relação entre a quantidade de matéria orgânica decomposta e a quantidade de formação de gás. Ele foi pioneiro em tratar de forma científica o processo de formação do gás a partir da decomposição de material orgânico presente em pântanos e fundo de lagos (CLASSEN; LIER; STAMRS, 1999).

A relação da temperatura com a produção do biogás foi descrita pela primeira vez por Popoff, em 1875. Ele constatou que a partir de 6°C até 50°C, o material orgânico decomposto começava a produzir gás e que a produção do mesmo aumenta de acordo com

o aumento da temperatura. Popoff também observou que independente da temperatura, o gás possuía a mesma composição.

A possibilidade da utilização do biogás como fonte de energia surgiu em 1884, com Louis Pasteur, que após coletar uma grande quantidade de gás, chegou à conclusão que o aquecimento e a iluminação da cidade de Paris poderiam ser supridos por tal fonte (TIETJEN, 1975).

Em 1895, a cidade de Exeter, na Inglaterra, já tinha o biogás produzido pelo tratamento de esgoto sendo utilizado na iluminação da cidade (McCABE, 1957).

Buswell, em 1930, com o apoio do desenvolvimento da microbiologia, identificou a bactéria e as condições que favorecem a biodigestão anaeróbica (BUSWELL; HATFIELD, 1936).

Mesmo com nítido potencial da utilização do biogás como fonte de energia, os combustíveis fósseis continuaram sendo a principal matriz energética mundial. A aplicação e o desenvolvimento dos biodigestores só voltaram a ganhar destaque depois da Segunda Guerra Mundial, devido ao racionamento de energia provocado pela guerra na Europa (LUSK, 1998).

Além da simplicidade estrutural do biodigestor, outros fatores como regulamentações ambientais e políticas públicas impulsionaram a utilização dos biodigestores rurais no continente europeu.

Os países com destaque na utilização do biogás em áreas rurais foram Índia e China, produzindo biodigestores que tem ampla empregabilidade atualmente. A estimativa é que exista cerca de 8 milhões de biodigestores operando na china e 300 mil na índia (BARIN et al., 2009).

A geração de energia a partir da biomassa é muito promissora, pois se trata de uma fonte renovável de baixo custo, onde seus resíduos ainda podem ser utilizados como biofertilizantes (Cortez, et al., 2008).

Devido ao fato de possuir grande disponibilidade de substrato, o meio rural se mostra como um cenário muito favorável para a utilização deste recurso com a finalidade de geração de energia, desta forma é possível reduzir custos operacionais. O potencial do Brasil nesse sentido é gigante, tendo em vista a ampla atuação da agropecuária na economia do país, com grandes criações de aves, suínos, bovinos, além de plantações. O aproveitamento dos resíduos apresenta baixo custo, redução das emissões de gases poluentes e redução do consumo de energia não renovável (ANGONESE, 2006). Tolmasquim (2016) através da Tabela 1 apresenta o potencial energético baseado na produção de metano a partir da biodigestão anaeróbica encontrado no esterco bovino, suíno e avícola.

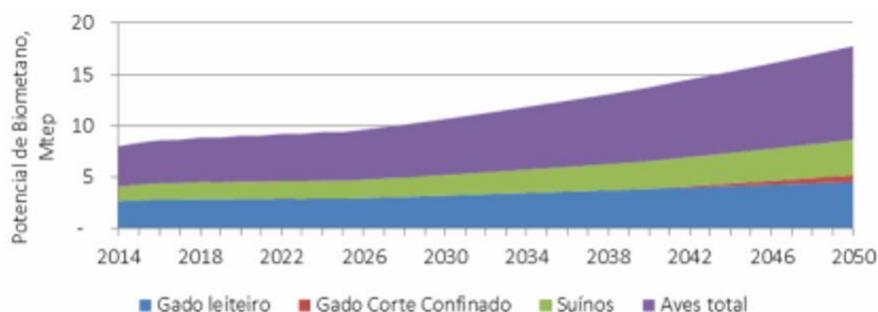
Tabela 1 – Teor de gases gerados na biodigestão de resíduos da pecuária leiteira.

| GÁS                | % NO BIOGÁS |
|--------------------|-------------|
| Metano             | 50 a 80     |
| Dióxido de Carbono | 20 a 40     |
| Hidrogênio         | 1 a 3       |
| Nitrogênio         | 0,5 a 3     |
| Sulfídrico         | 1 a 3       |

Fonte: TOLMASQUIM, 2016.

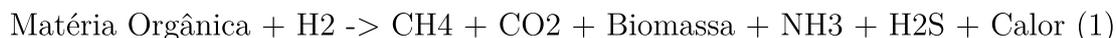
Tolmasquim (2016) ainda cita, segundo a Figura 1 que dentre os setores, os setores avícola e de gado leiteiro possuem maior potencial de geração do biometano.

– Figura 1 - Potencial de produção de Biometano.



Fonte: TOLMASQUIM, 2016.

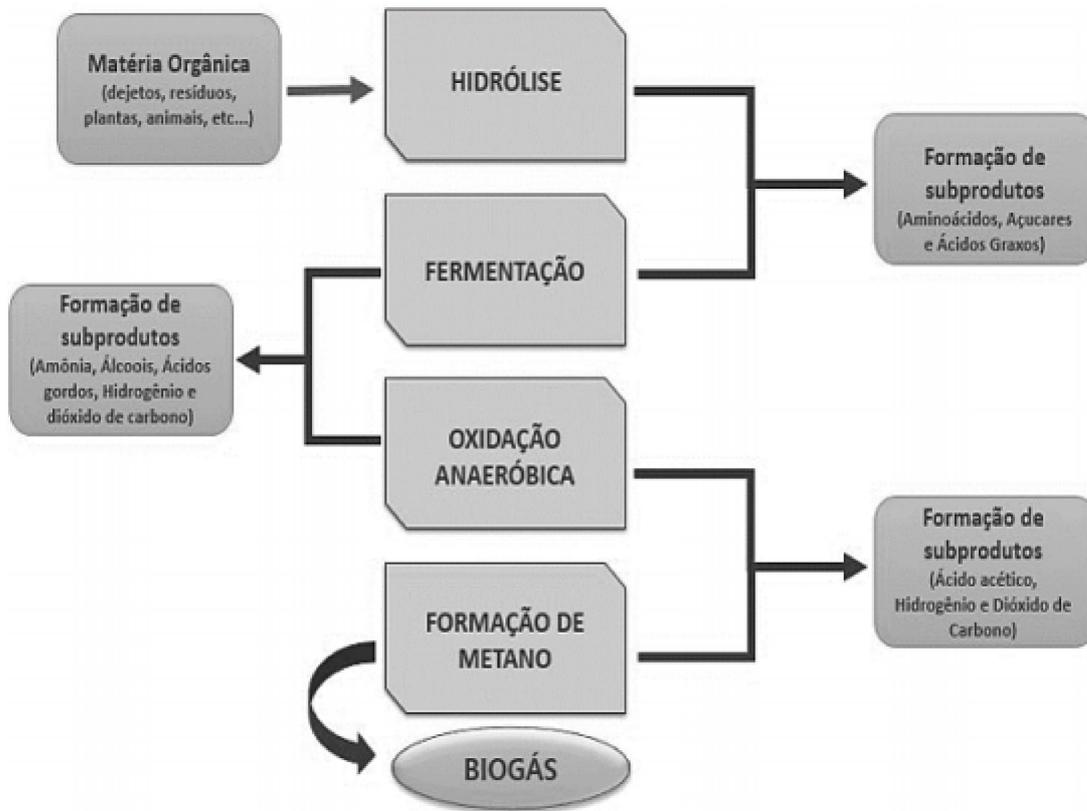
O biogás, proveniente da digestão anaeróbica, tem o metano como principal produto, além de dióxido e um resíduo extremamente rico que pode ser usado como biofertilizante. Este processo pode ser descrito pela Equação 1 (KELLEHER, 2002).



Podendo acontecer em uma lagoa anaeróbia ou tanque, a digestão anaeróbica ocorre em fases, a partir da atuação de microrganismos que agem de forma simbiótica (KELLEHER, 2002).

Hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese são as fases que compõem o processo de digestão anaeróbica a nível bacteriano, sendo que a formação do biogás acontece na última fase. Garantir que as reações químicas intermediadas por microrganismos de cada fase ocorram de forma sinérgica, tendo em vista a relação que acontece entre elas (KELLEHER, 2002). A Figura 2 ilustra o conjunto dos processos bioquímicos presentes na formação do biogás.

– Figura 2 - Etapas de produção do biogás.



Fonte: ARAUJO, 2017

Como mostrado na Equação 2, é na hidrólise que proteínas, gorduras e carboidratos são quebrados por enzimas, dando origem à açúcares, aminoácidos e ácidos graxos (ARAUJO, 2017).



Na acidogênese, são formados ácido butanoico, ácido lácteo, ácido propanóico, álcoois, gás carbônico e hidrogênio a partir da ação de bactérias acidogênicas nas substâncias provenientes da hidrólise. Um fator importante nesta fase é a concentração de hidrogênio, uma vez que a alta concentração deste elemento afeta negativamente na acidogênese, causando acúmulo de ácidos orgânicos, afetando então o processo pelo fato de reduzir o pH da mistura (ARAUJO, 2017).

Sendo uma das fases mais delidas do processo, é na acetogênese em bactérias acetogênicas transformam em ácido etanóico, hidrogênio e gás carbônico os materiais resultantes da acidogênese. É preciso manter o equilíbrio para que as bactérias responsáveis pela metanogênese consumam a quantidade de acetato gerada nesta fase (ARAUJO, 2017).

É na metanogênese em que finalmente são formados metano e gás carbônico a partir da biodigestão do ácido acético, hidrogênio e dióxido de carbono pela ação de microrganismos metanogênicos da classificação Archeas. Esta que é dividida em dois

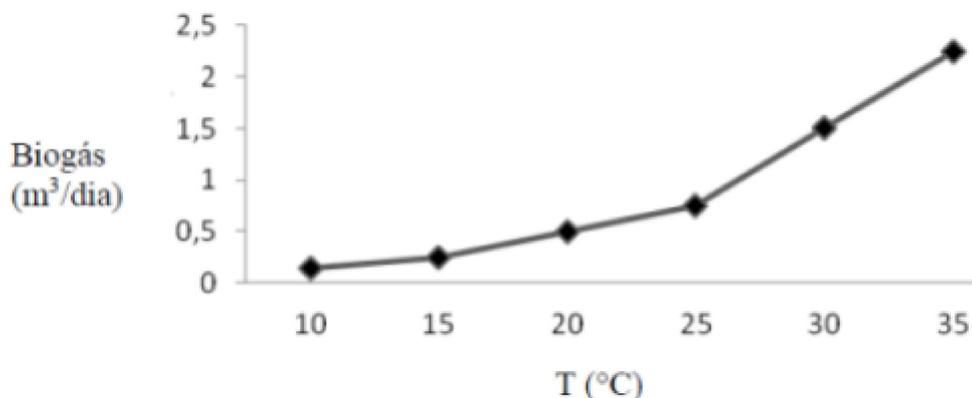
grupos de acordo com a sua fisiologia, onde os microrganismos acetoclásticos utilizam metanogênicos hidrogenotróficos e ácido acético para a produção de metano e gás carbônico enquanto os metanogênicos utilizam hidrogênio e dióxido de carbono. Como mostra respectivamente nas Equações 3 e 4 (ARAÚJO, 2017).



Os principais fatores que influenciam na produção do biodigestor são temperatura, tempo de retenção e pH. Sendo a temperatura, um fator que influencia diretamente na biodigestão (FERNANDES, 2012). A temperatura externa ao biodigestor tem grande relevância sobre a temperatura interna, uma vez que os micro-organismos não possuem meios de controlar a temperatura do seu ambiente. Sendo assim, a temperatura é um dos fatores físicos que mais afetam no crescimento microbiano e na seleção das espécies (ISOLDI et al., 2001). De acordo com (Chernicharo, 2007), três faixas de temperatura estão associadas à crescimento da população microbiana: psicrofílica (entre 0° e 20°C), mesófila (entre 20° e 40°C) e a termófila (entre 45° e 70°C). O autor ainda afirma que valores de temperatura são associados a cada uma dessas faixas para a caracterização da multiplicação dos microrganismos, sendo que as temperaturas mais próximas aos limites inferiores dos intervalos apresentam níveis mais baixos de produção de biogás, mas tem aumento exponencial quando essa temperatura aumenta e se aproxima do limite superior do intervalo ótimo de produção.

Existem 2 faixas ideais de temperaturas dentro das fases citadas acima, de (30° a 35°C) na fase mesófila e de (50° a 55°C) na fase termófila. A maioria dos biodigestores são projetados para operar dentro da faixa mesófila, uma vez que a operação na faixa termófila apresenta algumas desvantagens pelo fato de demandar uma fonte adicional de calor bem mais relevante, além do processo apresentar instabilidade. Mesmo que temperaturas mais altas sejam desejadas pelo fato de apresentarem maiores níveis de produção de biogás, talvez seja ainda mais importante manter a temperatura constante no interior do digestor, uma vez que o processo de digestão anaeróbia é extremamente sensível a mudanças bruscas de temperatura. (Chernicharo, 2007). A Figura 3 apresenta a influência da temperatura na produção de biogás.

– Figura 3 - Efeito da temperatura na produção do biogás.



Fonte: SAKUMA, 2013.

Com a homogeneização dos produtos internos do biodigestor que ocorre antes de seu abastecimento, a produção de biogás pode ser melhorada, através de bombas que realizam a recirculação ou utilizando de agitadores mecânicos instalados no interior dos biodigestores.

Um sistema de agitação auxilia na transferência de calor, além de manter os sólidos em suspensão (melhoramento entre o contato dos microrganismos e matéria orgânica). A utilização desse sistema acarreta no aumento de custos tanto de implantação quanto em manutenção (DO AMARAL, 2019).

É fundamental o bom funcionamento do sistema de agitação para a estabilidade do processo. Com o sistema de agitação há um ganho de produtividade em torno de 15 a 30% de biogás (Karim et al., 2005). Além de contribuir com o aumento na distribuição de nutrientes, substratos, enzimas e microrganismos no biodigestor, e contribuir com a diminuição e eliminação de crostas, potencializando a liberação do biogás presente no lodo (DO AMARAL, 2019).

Existem dois parâmetros importantes para controle da agitação, intensidade e tempo. A intensidade por períodos longos, sendo essa uma agitação intensa, pode afetar a biomassa, o que afeta diretamente da liberação do biogás, e uma agitação insuficiente, resulta na separação de fases no biodigestor, o que interfere no contato inóculo/ substrato, liberação do biogás e transferência de calor. A intensidade e o período de agitação influenciam diretamente na eficiência do biodigestor e dependerá também de fatores como: viscosidade, teor de gorduras, teor de sólidos e a presença de substâncias tensoativas, ou seja, que promovem espuma (DO AMARAL, 2019).

Os biodigestores se diferenciam em relação ao tipo de matéria-prima, abastecimento e localização, sendo que o sistema de alimentação pode acontecer de forma contínua e descontínua.

No caso descontínuo, o biodigestor é alimentado uma única vez e a matéria fica o tempo necessário para que aconteça a produção do biogás em níveis satisfatórios e depois toda a matéria é retirada e usada como fertilizante, dando origem a um novo ciclo.

Esse tipo de biodigestor é mais simples, pelo fato de possuir um número menor de componentes mecânicos, conseqüentemente possui menor custo de operação, sendo mais indicado em locais de baixa produção de matéria orgânica. E sua eficiência é reduzida (DEGANUTTI, 2002).

No caso contínuo, o biodigestor é alimentado todos os dias, e a mesma quantidade de matéria que entra, vai sair já como fertilizante, mantendo assim um nível de operação constante. Este modelo é muito aplicável em locais de criação animal em regime de confinamento onde existe uma grande produção diária de esterco. Um bom exemplo dessa aplicação é nas fazendas que por objetivo a produção de leite (FERNANDES, 2012).

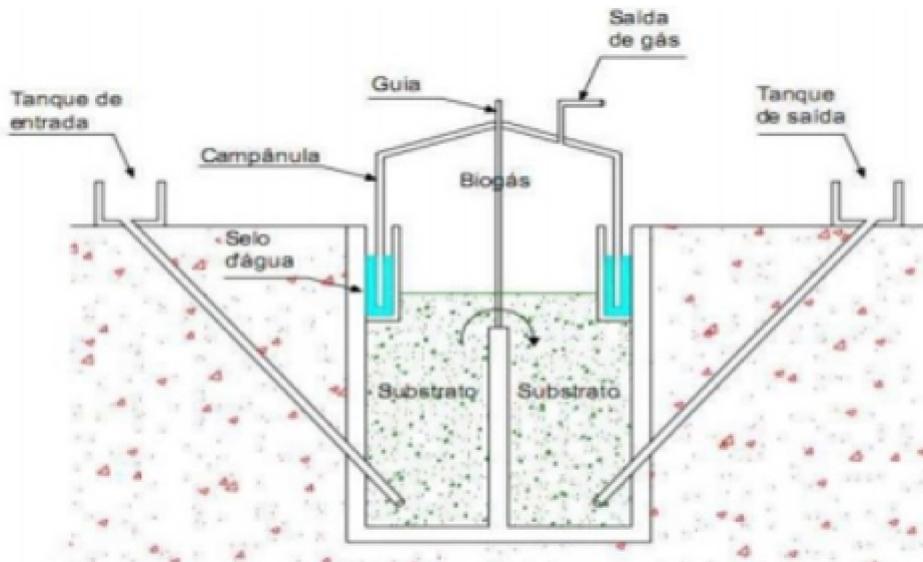
Existem 3 principais modelos de biodigestores, são eles: Indiano, Chinês e Canadense.

O biodigestor indiano utiliza como gasômetro uma campânula flutuante que pode estar disposta de duas formas: mergulhada sobre a biomassa ou em um selo de água externo. À medida em que acontece a produção de biogás e ele não é consumido, o gasômetro se locomove verticalmente para cima a fim de aumentar seu volume e fazer com que a pressão permaneça constante. Este modelo opera com abastecimento contínuo, geralmente alimentado por dejetos de bovinos e/ou suínos, devendo ter uma concentração de sólidos totais (ST) de até 8 %, facilitando assim sua circulação pelo interior da câmara e evitando entupimentos (DEGANUTTI, 2002).

Este modelo tem como vantagem ser de fácil construção, porém o fato da campânula ser de metal pode elevar o custo final do equipamento e a disposição do espaço da propriedade pode inviabilizar a implantação do mesmo (JORGE & OMENA, 2012).

Comparado ao modelo chinês, o modelo indiano, representado na Figura 4, leva vantagem pelo fato de se adaptar facilmente ao clima do local e ao solo, sem que haja a necessidade de se estabelecer medidas fixas para diâmetro e profundidade, apenas levando em consideração relação entre a capacidade do tanque digestor e da campânula (GASPAR, 2003).

– Figura 4 - Representação de Biodigestor Modelo Indiano.



Fonte: ARAUJO, 2017

No modelo de biodigestor chinês, temos como elementos básicos a câmara de fermentação cilíndrica que é feita em alvenaria e teto côncavo impermeável onde é armazenado o biogás. À medida em que acontece a produção de biogás, a pressão no seu interior aumenta fazendo com que parte da biomassa seja descolada para a saída já na forma de fertilizante. Assim como no modelo Indiano, este modelo também opera com abastecimento contínuo e deve ter uma concentração de sólidos totais (ST) de até 8 %, facilitando assim sua circulação pelo interior da câmara e evitando entupimentos (DEGANUTTI, 2002).

Por ser constituído quase todo de alvenaria é dispensando o uso de gasômetro em chapa de aço, reduzindo assim os custos. Em contrapartida, podem ocorrer problemas relacionados à vazamentos de gás, se a vedação e impermeabilização não for realizada da forma correta (ANDRADE et al., 2012).

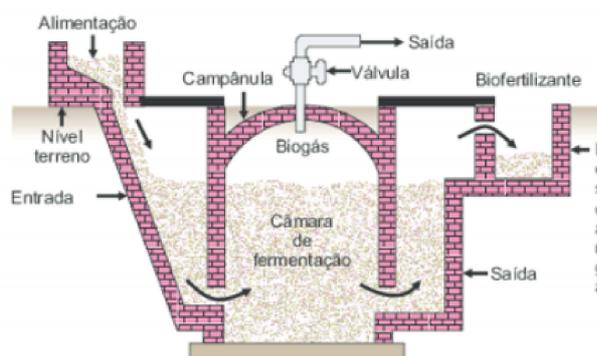
Este modelo chinês apresenta uma desvantagem por uma parcela de gás que é formado na caixa de saída é escapa para a atmosfera, reduzindo parcialmente a pressão interna do gás. Por apresentar esta característica este biodigestor não é utilizado para instalações de grande porte (DEGANUTTI et al., 2002).

Ele normalmente opera com alta pressão, e existe a necessidade de uma câmara de regulagem que permita que ele trabalhe a baixa pressão, uma vez que pode haver variação de acordo com a produção e consumo do biogás (GASPAR, 2003).

Devido ao fato de ser todo construído de alvenaria, como mostra a Figura 5, existe a demanda de um pedreiro qualificado, já que são utilizadas técnicas pouco convencionais,

como a utilização do próprio peso do tijolo para mantê-lo na posição necessária até que a argamassa seque, além de extrema atenção em relação à vedação e impermeabilização das paredes internas e externas, impedindo assim possíveis infiltrações provenientes da água absorvida pelo solo ou de lençóis freáticos próximos (GASPAR, 2003).

– Figura 5 -Representação de Biodigestor Modelo Chinês.

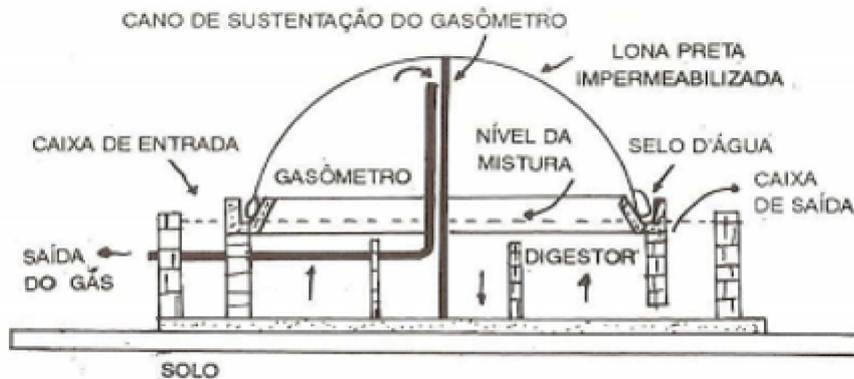


Fonte: ARAUJO, 2017

O modelo de biodigestor canadense, também chamado de modelo da marinha pelo fato de ter sido desenvolvido pela Marinha Brasileira em 1970 e ainda que de simples construção, ele é o que apresenta tecnologia mais moderna e é o de maior produção entre os 3 modelos. Sua câmara de digestão é escavada no solo e possui gasômetro inflável feito de material plástico, que infla à medida em que o biogás é produzido e ele pode estar junto do digestor, como pode ser observado na figura 6, ou estar separado, o que confere um melhor controle operacional (JUNQUEIRA, 2014).

Devido à sua versatilidade, podendo ser utilizado tanto em grandes quanto em pequenas propriedades, além de projetos agroindustriais, este modelo é o mais utilizado no Brasil. Podendo ser alimentado de forma contínua ou batelada (OLIVER, 2008).

– Figura 6 -Representação de Biodigestor Modelo Canadense.



Fonte: ARAUJO, 2017

## 2.2 ARDUÍNO

Com o intuito de aplicar o conhecimento de programação de computadores em projetos de arte, automação e robótica, na Itália, em 2005, o professor Massimo Banzi criou o Arduino (RODRIGUES 2012). Ele se deparou com um grande desafio quando não conseguiu encontrar placas que fossem eficientes, baratas e que ainda fossem didáticas. A saída então foi criar sua própria placa, para isso, ele contou com a ajuda do engenheiro espanhol David Cuartielles e de um de seus alunos, David Mellis, que desenvolveu a linguagem de programação do Arduino. Devido a sua ampla aplicação, o hardware do Arduino ganhou visibilidade rapidamente foi um sucesso (UNESP, 2012). Até outubro de 2008 já haviam sido vendidas mais de 50.000 placas, (BARROS, 2012).

### 2.2.1 A plataforma

A plataforma Arduino possui duas IDEs (*Integrated development environment* ou ambiente de desenvolvimento integrado) para o desenvolvimento e upload de programas para as placas microcontroladoras. Um dos ambientes é online, sendo necessário somente a instalação de um plugin. O outro é um programa que pode ser instalado em qualquer computador com MAC, Windows ou Linux (Arduino AG, 2018).

Para McRoberts (2010), Arduino é um sistema embarcado, ou seja, que pode interagir com seu ambiente por hardware e software incorporados a um dispositivo com um objetivo pré-definido. Trata-se de um projeto de código livre que pode ser “clonado” tanto em software (que utiliza linguagem de programação em C/C++) quanto em hardware. O Arduino, assim como um CLP (controlador lógico programável), controla sistemas industriais. A finalidade central da plataforma é facilitar a automação e controle de ambientes a nível comercial, doméstico e móvel. Com placas chamadas módulos ou Shields (escudos, em inglês), o Arduino tem suas aplicações ampliadas facilmente. Essas placas

podem funcionar como receptores GPS, módulos de rede ethernet ou wireless, dentre outros, (MCROBERTS, 2010). Nos ambientes de desenvolvimento, existe um recurso que permite facilmente instalar uma série de bibliotecas que oferecem uma grande variedade de funcionalidades. O port do FreeRTOS está disponível como uma biblioteca neste recurso (Arduino AG, 2018). Existem diversos modelos de placa da plataforma Arduino. A Figura 7 apresenta uma versão recente e acessível do Arduino, chamada Arduino UNO:

– Figura 7 -Arduino UNO.



Fonte: DESTACOM, 2012

O Arduino UNO é uma placa microcontroladora de design aberto. Ela possui 14 pinos de entrada e saída digitais, dispositivos como um sensor de temperatura ou um braço robótico que está sendo controlado pelo programa executando no hardware podem ser conectados a essas saídas a fim de executar alguma ação. A placa trabalha com uma tensão de 5V, podendo ser alimentada por bateria, fonte ou por uma entrada USB tipo B, tal entrada também é utilizada para fazer o upload do código-fonte quando a placa é ligada em um computador (Arduino AG, 2018).

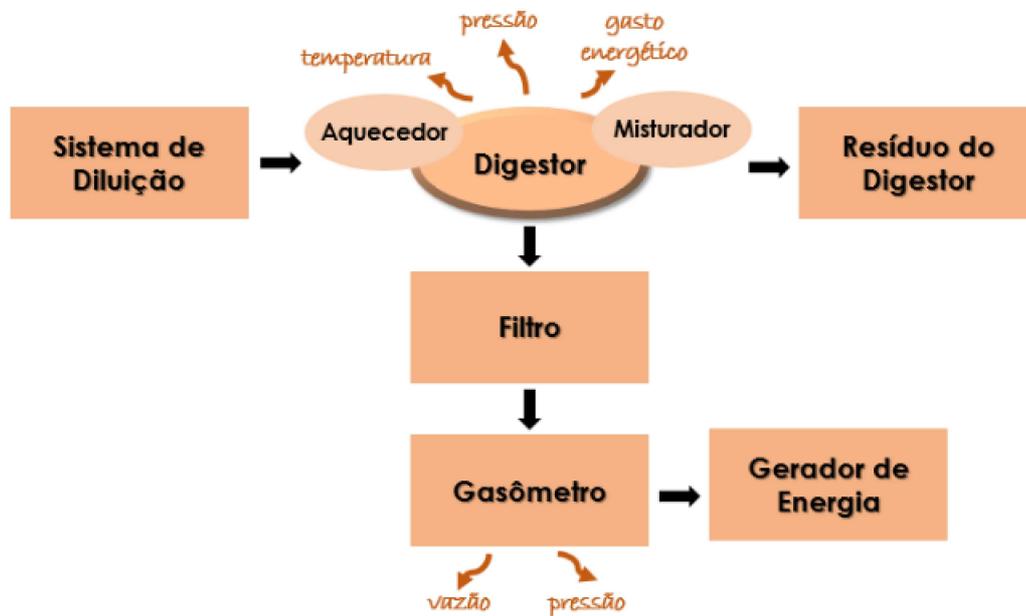
Mesmo sendo extremamente versátil, com muitas possibilidades de aplicação, o Arduino Uno ainda é um componente limitado. O microcontrolador do mesmo, é o ATmega328P com velocidade do clock de 16 MHz, memória flash de 32KB e SRAM de 2KB (Arduino AG, 2018).



### 3 METODOLOGIA

O protótipo desenvolvido tem o mesmo princípio básico de funcionamento dos outros modelos, conforme a Figura 8, sendo ele: o substrato diluído em água é armazenado no digestor, onde gases são produzidos a partir do processo de biodigestão, passando posteriormente por um filtro que tem por finalidade reduzir os níveis de CO<sub>2</sub>, chegando assim no biometano, que é armazenado em um compartimento chamado gasômetro.

– Figura 8 -Funcionamento do protótipo.

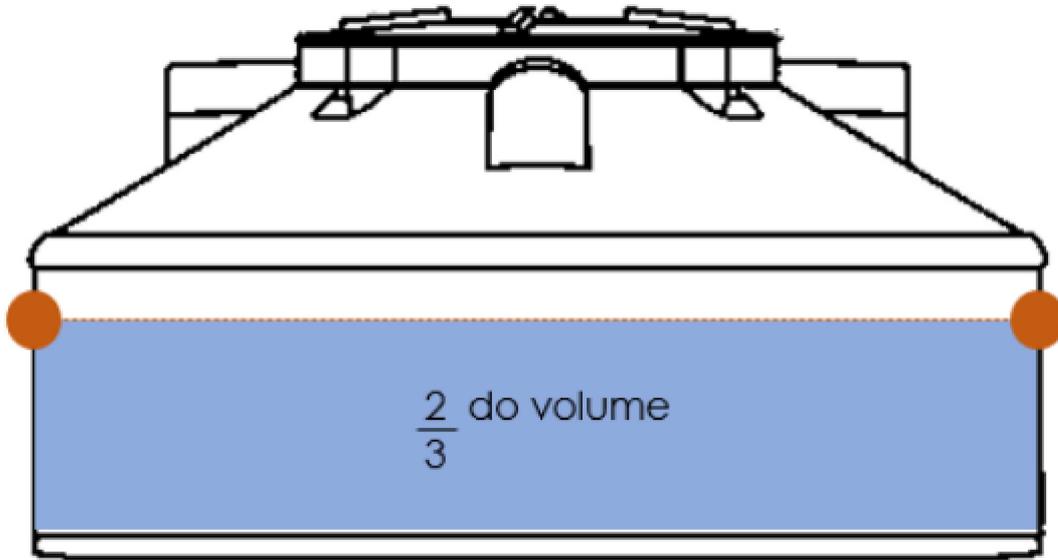


Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Dentre os modelos de biodigestores já existentes, mesmo com algumas diferenças estruturais, o protótipo se aproxima mais do modelo canadense, por possuir gasômetro inflável, que está separado do digestor, é alimentado de forma contínua, e tem o digestor enterrado.

Para o digestor, foi utilizada uma caixa d'água de 500l com operação em 2/3 do seu volume total, representada pela Figura 9, onde o volume é mantido constante pela diferença de altura da caixa de entrada e de saída do material e pelo fato de a alimentação ser contínua, em que após atingido o nível desejado, a quantidade de material que entra diariamente no biodigestor é a mesma que sai.

– Figura 9 -Caixa d'água que será utilizada como digestor.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Para avaliar a influência da temperatura no interior da câmara, a fim de determinar o quanto isso afeta na produção final do gás e mensurar o impacto de mudanças bruscas da temperatura ambiente no rendimento, o sistema de monitoramento e controle deste parâmetro foi desenvolvido utilizando um sensor de temperatura DS18B20 e uma resistência. O sensor fica em contato com material no interior do digestor para realizar a leitura de temperatura e a resistência é acionada quando a temperatura está abaixo do limite inferior, sendo desligada quando a mesma ultrapassa o limite superior, fazendo assim que este parâmetro se mantenha sempre dentro de uma faixa ótima de operação. Definida pela literatura entre 30 e 35 graus Celsius (Chernicharo, 2007).

Tanto a leitura de temperatura quanto o acionamento da resistência são feitos pelo arduino UNO. Para isso, foi desenvolvido um programa que executa a leitura em intervalos de tempo predeterminados, armazenando esses dados em um cartão sd e através de um relé, que aciona e desaciona a resistência de acordo com os limites superiores e inferiores preestabelecidos.

O misturador de biomassa funciona como um otimizador da reação e impede que ocorra o surgimento de espuma na superfície do material presente no interior do biodigestor. O sistema foi desenvolvido da seguinte forma: após determinar o modelo de hélice para realizar a agitação do material, foi utilizado um motor de vidro de elétrico para gerar o movimento que será transferido para a hélice, a escolha deste motor foi feita pelo fato de possuir baixa rotação e alto torque, atendendo assim as necessidades do protótipo. Para a alimentação do mesmo foi necessária uma fonte de 12 V de corrente contínua. Para transmitir o movimento do motor para a hélice foi necessário desenvolver uma transmissão,

o que demandou a fabricação de um acoplamento de eixo. O acoplamento foi fabricado a partir da operação de torneamento em um tarugo de aço 1045, sendo realizado furos e abertura de rosca para que a fixação do eixo no mesmo fosse feita através de parafusos. A partir daí o acoplamento foi faceado com a engrenagem do motor e faceado através de soldagem com eletrodo revestido. O eixo foi fabricado a partir de um tarugo de alumínio, usinado e possuindo rebaixas em suas extremidades com diâmetros compatíveis com o furo do acoplamento e da hélice.

Com isso, foi possível fazer a pré-montagem dos componentes e testar o conjunto em um tanque de água para se certificar de que ele atenderia as necessidades do protótipo de forma satisfatória. Como mostra a Figura 10.

– Figura 10 - Teste misturador.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

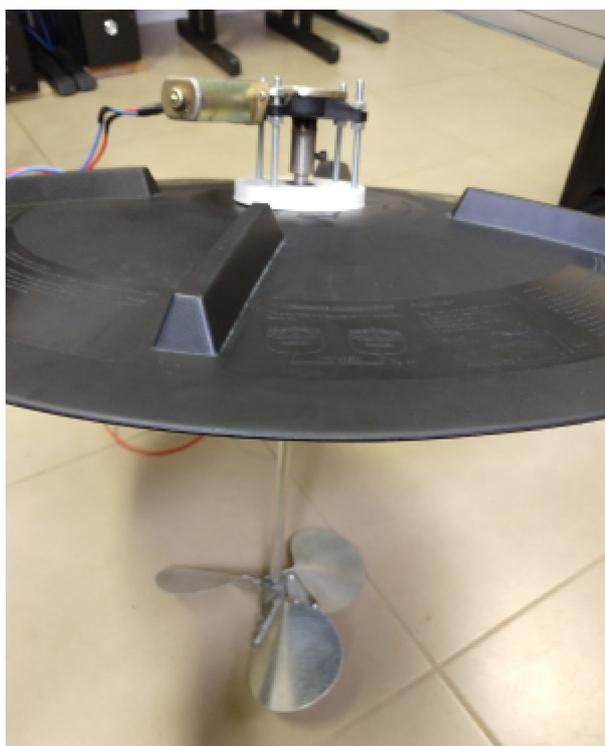
Devido a necessidade de fixar o motor na tampa do digestor, com o intuito de manter o isolamento entre os meios interno e externo de forma que não ocorra vazamentos de gás, foi desenvolvido um suporte com furos, sendo as posições e diâmetros destes compatíveis com os furos do motor, existindo também a necessidade de um rebaixo no centro do suporte de acordo com as dimensões do retentor, que foi especificado de acordo com a compatibilidade do seu diâmetro interno com o diâmetro do eixo, garantido assim a vedação do sistema. O projeto do suporte, representado na Figura 11, se iniciou com o desenho do suporte no SolidWorks atendendo as exigências anteriores, para posteriormente o arquivo do mesmo ser produzido pela impressora 3D. Após as etapas anteriores foi possível fazer a pré-montagem do conjunto todo.

– Figura 11 - Suporte do motor.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

– Figura 12 - Pré montagem.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

O misturador é controlado de forma automatizada pelo arduíno através do código que foi desenvolvido, o código tem o intuito que o motor seja acionado em intervalos de tempo preestabelecidos, sendo este um uso intervalar. O controle do misturador demanda um relé para controlar a corrente de seu acionamento , sendo este alimentado pela fonte de alimentação citada anteriormente.

Como os sistemas de controle de temperatura e do misturador são controlados pelo arduíno, sendo os eventos independentes, foi um desafio de programação fazer com que eles atuassem em conjunto sem que o funcionamento de um interferisse no do outro.

Uma vez que os pontos de maior relevância no rendimento do biodigestor foram atacados, não existiu a necessidade de produzir os demais componentes para completar o sistema, sendo adquiridos na empresa: BGS Equipamentos para biogás. Para armazenar o biogás, foi escolhido o gasômetro BGS-ARM-02, o filtro BGS-2L foi o adquirido com a finalidade de baixar o nível de CO<sub>2</sub>, enriquecendo assim o biogás e dando origem ao biometano. Para mensurar o quando de biogás está sendo produzido, foi utilizado um medidor de vazão. Tubulações, conexões e registros ficam responsáveis por ligar além de contar com um purgador para retirar umidade da linha e válvula de alívio como dispositivo de segurança para que todo o processo desde a produção do biogás até o armazenamento do biometano aconteça de maneira eficiente.



## 4 TESTES E RESULTADOS

Para justificar as tomadas de decisão do projeto e garantir o funcionamento dos sistemas, parâmetros foram levados em consideração e alguns testes foram realizado.

Pensando como parâmetros, torque, velocidade de rotação, torque e custo, foi escolhido um motor de vidro elétrico de carro para gerar movimento no sistema de agitação. Ele possui as seguintes especificações: torque de 9,12 N.m, velocidade angular de 60rpm e custo aproximado de 50 reais.

Para a fabricação do eixo, foram levados em consideração o ambiente em que o componente estaria em contato, a altura em que a hélice estaria em relação ao fundo do digestor, o diâmetro do furo da hélice e o diâmetro do furo do acoplamento. A partir disso, chegou-se a um eixo de alumínio, por se tratar de um material leve e com alta resistência à oxidação, com 55cm de comprimento, significando que a hélice estaria a uma distância de aproximadamente 10 cm do fundo do digestor e 13mm de diâmetro ao longo do seu comprimento com 11mm de diâmetro nas duas extremidades para receber o acoplamento e a hélice.

O acoplamento do eixo, mostrado na Figura 13, tem a função de ser o elo ligação entre o motor e o eixo. Pensando nisso, sua construção foi feita de modo a garantir que a união desses componentes acontecesse de forma satisfatória, resistindo aos esforços em que ele seria submetido. Por se tratar de uma adaptação, tendo em vista que o motor utilizado é de vidro elétrico de carro e que sua transferência de movimento acontece originalmente através de engrenagem, foi preciso assegurar a concentricidade na fixação do acoplamento na engrenagem do motor para que o movimento do eixo e conseqüentemente da hélice acontecesse da maneira desejada. Para chegar nas condições citadas acima, o acoplamento foi fabricado com aço 1045, com o mesmo diâmetro da engrenagem do motor 21mm, o que após faceadas e soldadas, garante a concentricidade do conjunto. Com o intuito de fazer a fixação do eixo ao conjunto, foi feito um furo no acoplamento e aberto rosca M16 para a entrada de um parafuso.

– Figura 13 - Acoplamento de eixo.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Os parâmetros que foram levados em consideração para a escolha da hélice foram: o ambiente de trabalho, o tipo de fluido, as dimensões da caixa e o grau de movimentação desejado. Após buscar em referências em modelos já em usados em biodigestores e também utilizando como modelo de estudo hélices usadas em sistemas de refrigeração, foi possível entender o que precisávamos de fato para aquela situação. Após não encontrar modelos de hélices usados em sistema de refrigeração que atendessem as necessidades ou que não fossem acessíveis financeiramente, encontramos uma hélice no laboratório de processos de fabricação da Universidade Federal de Juiz de Fora que a princípio poderia ser aplicada no projeto. Feita de alumínio, com reforços na estrutura e com um bom ângulo das pás, e com um diâmetro de aproximadamente 25cm, ela atenderia aos requisitos do projeto.

– Figura 14 - Hélice.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Para verificar a viabilidade do sistema, foi feita sua pré-montagem e simulada uma situação parecida com a que seria enfrentada em situações reais. Usando um tanque com água foi possível analisar se o comportamento dos componentes submetidos aos esforços estava dentro do esperado, se a altura da hélice em relação ao fundo, o ângulo das pás e a velocidade de rotação do motor eram suficientes para gerar a movimentação desejada.

O sistema de controle de temperatura é constituído basicamente por apenas 2 componentes: sensor de temperatura e resistência. O sensor escolhido foi do Ds18b20 por ser à prova d'água e possuir uma gama de temperatura utilizável de -55 a 125 graus, com precisão de 0.5 graus na faixa de -10 a +85 graus e a resistência escolhida foi a resistência elétrica de aquecedor solar boiler de aço inox de 1/2/3kw.

Para validar o funcionamento dos sistemas desenvolvidos, alguns testes foram realizados a fim de garantir sua eficiência quando instalado em campo. Para simular a variação da temperatura no interior do biodigestor, foi usada uma fonte de calor próximo ao sensor e foi feita verificação se quando a leitura de temperatura estivesse abaixo do limite inferior da faixa de operação, acontecia o acionamento do sistema de aquecimento, e quando a leitura estivesse acima do limite superior, o sistema de aquecimento seria desligado. Garantindo assim que a temperatura estivesse sempre dentro da faixa ótima trabalho. Definida pela literatura entre 30 e 35 graus Celsius (Chernicharo, 2007). O sistema correspondeu conforme o esperado.

Como opção para diminuir a influência da temperatura ambiente na temperatura no interior do biodigestor, foi utilizada uma manta térmica feita de material reflexivo cobrindo a caixa, uma vez que o digestor não pôde ser enterrado neste primeiro momento por se tratar de um protótipo em que são necessários ajustes constantes e a utilização da resistência elétrica não ter sido utilizada a princípio por conta da estrutura em que o protótipo foi instalado.

– Figura 15 - Capa térmica.



Para fazer o acionamento automatizado tanto do sistema de controle de temperatura quanto do sistema de agitação, foi escolhida a placa Arduino Uno pelo fato de possuir ampla aplicabilidade, ter fácil acesso a conteúdo de programação e preço acessível.

O local para receber o protótipo deveria atender alguns critérios para que fosse viável a instalação e análise de rendimento do equipamento. Sendo assim, foi escolhida uma propriedade no Bairro Parque das Torres, Zona Norte de Juiz de fora. Além de ser um local de fácil acesso, atendia com relação ao espaço disponível, quantidade de rejeito disponível diariamente para alimentar o biodigestor diariamente com 10kg de rejeito diluído em 10l de água e um proprietário interessado e disposto a operar o equipamento.

Após esperar o tempo de start up do reator de 30 dias e começar o crescimento da biomassa, e, conseqüentemente a produção de biogás, foi observado um vazamento gás na tampa, que tinha sido vedada inicialmente com silicone. Mesmo empregando outras alternativas, como a utilização de manta asfáltica na tentativa conter o vazamento, este problema ainda não foi resolvido, o que por hora impossibilitou uma análise de rendimento e operação dos sistemas implantados.

– Figura 16 - Protótipo instalado.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

– Figura 17 - Digestor.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.



## 5 CONCLUSÃO

Com os estudos e processos desenvolvidos no trabalho apresentado, foi possível desenvolver um protótipo de biodigestor totalmente apto para realização de análises relacionadas a rendimento, viabilidade financeira e aplicabilidade em situações de demandas reais. Logo, o objetivo do trabalho foi alcançado, sendo todo ele desenvolvido utilizando a estrutura da ufjf, o que gera orgulho e inspiração para que novos projetos surjam nesse ambiente.

### 5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Análise de viabilidade financeira

Variação de parâmetros de temperatura

Variação de parâmetros de agitação

Análise de aplicação em sistemas maiores

Análise de aplicação com outros tipos de rejeito



## REFERÊNCIAS

- [1] AGUIAR, André Andrade de. **Avaliação da microbiota bucal em pacientes sob uso crônico de penicilina e benzatina**. 2009. Tese (Doutorado em Cardiologia) - Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.
- [2] BAUMAN, Zygmunt. **Globalização: as consequências humanas**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1999.
- [3] DOREA, R. D.; COSTA, J. N.; BATITA, J. M.; FERREIRA, M. M.; MENEZES, R. V.; SOUZA, T. S. Reticuloperitonite traumática associada à esplenite e hepatite em bovino: relato de caso. **Veterinária e Zootecnia**, São Paulo, v. 18, n. 4, p. 199-202, 2011. Supl. 3.
- [4] ARAÚJO, A. P. C. **Produção de biogás a partir de resíduos orgânicos utilizando biodigestor anaeróbico**. 2017
- [5] BARIN, A.; CANHA, L. N.; ABAIDE, A. R.; MARTINS, L. F. G. **Análise crítica dos atuais incentivos ao uso de fontes renováveis de energia no cenário energético nacional : O caso do biogás**. Universidade Federal de Santa Maria: Santa Maria RS, 2009.
- [6] BARROS, WAGNER B. **Sistema de Automação Veicular com Arduino e Andróid**. 2012. 58f. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnólogo em Sistemas para Internet) - Centro Universitário Adventista de São Paulo, São Paulo, 2012.
- [7] BUSWELL, A.M.; HATFIELD, W.D. **Anaerobic Fermentations**. Illinois. 1936.
- [8] CLASSEN, P.A.M; LIER, J.B.; STAMRS, A.J.M., **Utilization of biomass for supply of energy carrier**. Applied microbiology and biotechnology, v.52, p.741-755, 1999.
- [9] DEGANUTTI, R.; PALHACI, M. C. J. P.; ROSSI, M. et al., **Biodigestores rurais: modelo indiano, chinês e batelada**. ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 4., Campinas, 2002.
- [10] DESTACOM – GRUPO DE ROBÓTICA. **Introdução ao Arduino**. Disponível em: <[http://destacom.ufms.br/mediawiki/images/9/9f/Arduino\\_Destacom.pdf](http://destacom.ufms.br/mediawiki/images/9/9f/Arduino_Destacom.pdf)>. Acesso em: 18 Out 2020.
- [11] DEUBLEINB, D., STEINHAUSER, A. **Biogas from waste and renewable resources**, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2008 368p.
- [12] DE LEMOS CHERNICHARO, Carlos Augustos. **Anaerobic reactors**. IWA publishing, 2007.
- [13] DO AMARAL, André Cestonaro; STEINMETZ, Ricardo Luis Radis; KUNZ, Airton. **Os biodigestores**. Embrapa Suínos e Aves-Capítulo em livro científico (ALICE), 2019.
- [14] FERNANDES, D. M., **Biomassa e biogás na suinocultura**. 2012. 211 f. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel. 2012.

- [15] GASPAR, R. M. B. L., **Utilização de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais com ênfase na agregação de valor. Um estudo de caso na região de Toledo-PR**, Florianópolis, 2003.
- [16] JORGE, LHA; OMENA, E. **Biodigestor**. Dossiê Técnico. SENAI/AM-Escola SENAI Antônio Simões, 2012
- [17] JUNQUEIRA, SLCD. **Geração de energia através de biogás proveniente de esterco bovino: estudo de caso na fazenda aterrado**. Universidade do Rio Janeiro, Departamento de Engenharia Mecânica DEM/POLI/UFRJ, Rio de Janeiro, 2014.
- [18] KARIM, KHURSHEED et al. **Anaerobic digestion of animal waste: Effect of mode of mixing**. *Water research*, v. 39, n. 15, p. 3597-3606, 2005.
- [19] KELLEHER, B. P.; LEAHY, J. J.; HENIHAN, A. M.; O'DWYER, T.F.; SUTTON, D.; LEAHY, M.J. **Advances in poultry litter disposal technology – a review** *Bioresource Technology*. v.83, p. 27-36, 2002.
- [20] LUSK, P., **Methane Recovery from Animal Manures The Current Opportunities Casebook**. U.S. Department of Energy, Washington, 1998.
- [21] MCCABE, J., **Biological Treatment of Sewage and Industrial Wastes**. v2. Reinbold Publishing. New York, 1957.
- [22] MCROBERTS, MICHAEL. **Begging Arduino**. Apress. Nova Iorque: 2010.
- [23] MEYNELL, P.J., **Methane: Planning a Digester**. Schocken Books. New York, 1976.
- [24] OLIVER, A. de P. M. et al. **Manual de treinamento em biodigestão**. Salvador: Winrock, 2008. 23 p.
- [25] RODRIGUES, L. et al. **Introdução ao Arduino**. Fundação Universidade Federal do Mato Grosso do Sul-UFMS. Campo Grande, 2012.
- [26] SAKUMA, A. C., **Desenvolvimento e análise experimental de biodigestores modulares de baixo tempo de residência**. 2013. 119 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2013.
- [27] SOARES, Clenoir Antonio. **Estudo da produção de biogás em escala real a partir de dejetos suínos**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), 2017.
- [28] TIETJEN, C., **FAO Soils Bull**. n. 27. p. 211. Roma. 1975.
- [29] TOLMASQUIM, Mauricio T., **Energia Renovável: Hidráulica. Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica**. Ministério das Minas e Energia: Rio de Janeiro, 2016.
- [30] UNESP - UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA JULIO DE MESQUITA FILHO. **Introdução à Plataforma de Desenvolvimento Arduino**. Disponível em:  
<http://www2.feg.unesp.br/Home/PaginasPessoais/ProfMarceloWendling/apresentacaoarduino.pdf>  
– Acesso em 16 Out 2020.

- [31] WEISMAN, W., **Gas from the Past: Biogas 101**. janeiro 2011. Disponível em: <<http://www.renewableenergyworld.com/articles/2011/01/gas-from-the-pastbiogas-101.html>>. Acesso em: 8 Out 2020.
- [32] SÃO PAULO (Estado). Secretaria do Meio Ambiente. Tratados e organizações ambientais em matéria de meio ambiente. *In*: SÃO PAULO (Estado). Secretaria do Meio Ambiente. **Entendendo o meio ambiente**. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente, 1999. v. 1. Disponível em: <http://www.bdt.org.br/sma/entendendo/atual.htm>. Acesso em: 8 mar. 1999.



## APÊNDICE A – Código do controlador

```

1 #include <OneWire.h> // Biblioteca para leitura de temperatura
2 #include <DallasTemperature.h> //Biblioteca para leitura de temperatura
3 #include <SPI.h> //Biblioteca uso cartao SD
4 #include <SD.h> //Biblioteca uso cartao SD
5
6 OneWire pino(3); // Saida digital arduino para leitura de temperatura
7 DallasTemperature barramento(&pino);
8 DeviceAddress sensor;
9
10 void controle_Motor ();
11 void ler_Temperatura ();
12 void espera ();
13
14 unsigned long tempoT = 0; // Variavel para armazenar o tempo
15                             da leitura de temperatura
16
17 unsigned long tempoM = 0; // Variavel para armazenar o tempo
18                             do acionamneto do motor
19
20 bool comutarT = false;
21 bool comutarM = false;
22
23 void setup ()
24 {
25
26     Serial.begin(9600);
27     barramento.begin ();
28     barramento.getAddress(sensor , 0);
29     SD.begin (4); // Pino CS do modulo SD
30     pinMode (5, OUTPUT); // Pino(5) de saida acionamento motor
31     pinMode (7, OUTPUT); // Pino saida acionamneto resistencia
32
33 }
34
35 void loop ()
36 {
37
38     controle_Motor ();
39     ler_Temperatura ();
40     espera ();
41
42 }
43
44 void controle_Motor () {
45

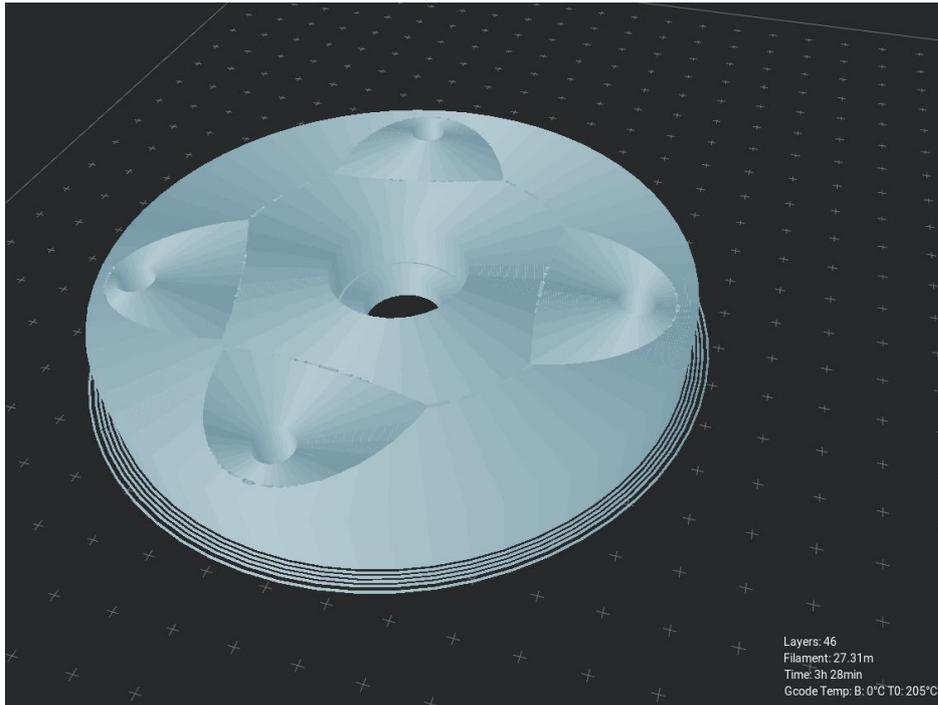
```

```
46  if ( ( millis () - tempoM) < 5000) {
47      digitalWrite (5, LOW);
48  } else {
49      digitalWrite (5, HIGH);
50  }
51  if ( ( millis () - tempoM) >= 15000){
52
53      tempoM = millis ();
54  }
55
56  }
57
58  void ler_Temperatura ()
59  {
60
61      if (comutarT)
62      {
63          barramento.requestTemperatures ();
64          float temperatura = barramento.getTempC(sensor);
65          File dados = SD.open ("TempInt.txt ", FILE_WRITE);
66
67          Serial.println (temperatura);
68          dados.println (temperatura);
69          tempoT = millis ();
70          comutarT = false;
71
72          if ( temperatura <= 30 )
73          {
74              digitalWrite (7, HIGH);
75          } else if ( temperatura >= 35 )
76          {
77              digitalWrite (7, LOW);
78          }
79      }
80
81  }
82
83  void espera ()
84  {
85      //—————Leitura de temperatura
86      if (!comutarT && millis () - tempoT >= 1000) {
87          comutarT = true;
88      }
89  }
```

## APÊNDICE A – Projeto Suporte – Formato .gcode

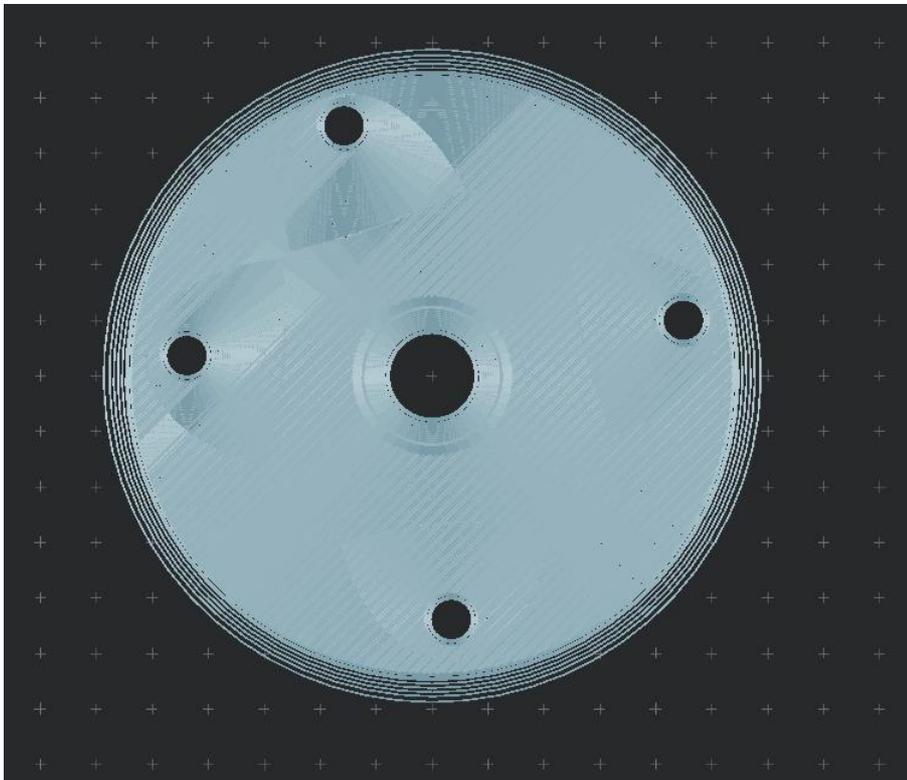
A Figura 18 apresenta a representação em 3D do suporte do motor e a Figura 19 apresenta a vista superior da mesma peça. Ambas no formato .gcode que é utilizado para leitura na impressora 3D, equipamento que responsável pela fabricação do suporte.

– 18 - Representação 3D



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

- 19 - Vista superior



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.