

## MECANISMO DO TIPO CURSOR-MANIVELA PARA CONTROLE DE VAZÃO EM BIODIGESTORES

\*

Bruno De Paula Rosa<sup>1</sup>  
Guilherme Lucio furnigare<sup>2</sup>  
Samuel Felipe Loureiro<sup>3</sup>  
Welliton Cunha Ramos<sup>4</sup>  
Willian Pires Sabadini Zuqui<sup>5</sup>  
Fernando Montanare Barbosa<sup>6</sup>  
Daniel José Laporte<sup>7</sup>  
Fabiano Pagliosa Branco<sup>8</sup>

### Resumo

Os mecanismos do tipo cursor-manivela têm aplicações em diversas áreas sendo que a mais conhecida é em motores de combustão interna. O biogás, produzido em biodigestores, vêm sendo uma fonte de energia renovável e alternativa que mais cresce no meio rural, principalmente entre os pequenos e médios fazendeiros. Em busca de uma melhor eficácia, custo e construção do controlador de vazão, aplicou-se o mecanismo cursor-manivela para controlar a vazão do fluido em biodigestores, que funciona como um sistema de controle totalmente mecânico, que para pequenos fazendeiros podem ser viáveis.

**Palavras-chave:** Biodigestor; Cursor-manivela; Controle de vazão

### MECHANISM OF THE CURSOR-HANDLE TYPE FOR FLUID CONTROL IN BIODIGESTORES

#### Abstract

Crank-crank mechanisms have applications in several areas and the best known is in internal combustion engines. Biogas, produced in biodigestors, has been a source of renewable and alternative energy that grows the most in rural areas, especially among small and medium-sized farmers. In order to improve efficiency, cost and construction of the flow controller, the crank-crank mechanism was applied to control the flow of the fluid in biodigesters, which functions as a fully mechanical control system, which for small farmers can be viable.

**Keywords:** Biodigester; Crank handle; Flow control

<sup>1</sup> Engenharia Mecânica, mestre, docente, departamento de engenharia, Universidade Católica Dom Bosco, MS, Brasil

<sup>2</sup> Graduando de Engenharia Mecânica, estudante, Universidade Católica Dom Bosco, Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil.

<sup>3</sup> Graduando de Engenharia Mecânica, estudante, Universidade Católica Dom Bosco, Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil.

<sup>4</sup> Graduando de Engenharia Mecânica, estudante, Universidade Católica Dom Bosco, Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil.

<sup>5</sup> Graduando de Engenharia Mecânica, estudante, Universidade Católica Dom Bosco, Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil.

<sup>6</sup> Engenharia Mecânica, doutor, coordenador de curso, departamento de engenharia, Universidade Católica Dom Bosco, MS, Brasil.

<sup>7</sup> Engenharia Mecânica, doutorando, docente, departamento de engenharia, Universidade Católica Dom Bosco, MS, Brasil.

<sup>8</sup> Engenharia Mecânica, doutor, docente, departamento de engenharia, Universidade Católica Dom Bosco, MS, Brasil.

## 1 INTRODUÇÃO

Os biodigestores são hoje uma forma alternativa de produção de energia elétrica. No trabalho (Alessandro Volta & Patrizio Comasco, 1777) é relatado a descoberta do biogás, componente essencial nos biodigestores, que após dois anos de pesquisa e experimentos identificou a composição química de um gás inflamável, o metano (CH<sub>4</sub>).

Por volta de 1857, segundo o trabalho recente Hérika et al. (2009), em um hospital para portadores de hanseníase na cidade de Bombaim, Índia, foi construída a primeira instalação destinada a produzir e utilizar o biogás. A Índia é considerada como o berço dos biodigestores.

Segundo o trabalho recente Portal do Biogás (2014), atualmente, o maior produtor de biogás e pioneiro nas novas tecnologias é a Alemanha. Um dos exemplos da grande produção alemã é a da usina de Bioenergiepark Güstrow, que gera cerca de 46 milhões de metros cúbicos (m<sup>3</sup>) de biogás por ano, produz cerca de 160 milhões de kWh por ano e aproximadamente 175.000 toneladas de biofertilizantes, que são reutilizados na agricultura da região da usina.

O processo para a produção, segundo o trabalho recente Portal de Resíduos Sólidos (2013), da energia elétrica através do biodigestor é bem simples. Consiste em coletar o material orgânico, seja ele de origem animal ou vegetal, e colocar em um fermentador onde todo o processo de decomposição da matéria orgânica vai ocorrer em um ambiente anaeróbico (sem a presença de oxigênio). Com a decomposição, ocorre o aparecimento do gás metano. Este gás vai para um tanque de armazenamento, ou não, para posteriormente ser queimado em um motor gerador e gerar a energia elétrica (Figura 1).

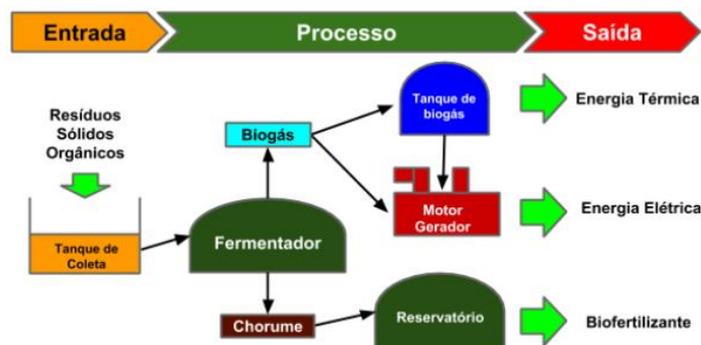
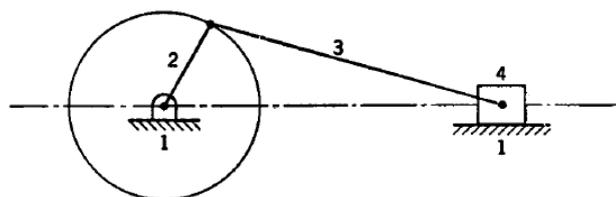


Figura 1. Princípio de Funcionamento de uma usina de biogás

Segundo o trabalho recente (Mabie & Ocvirk, 1980), o mecanismo do tipo Cursor-Manivela, é amplamente usado em motores de combustão interna (Figura 2). A peça 1 é fixa, a peça 2 representa a manivela, a peça 3 a biela e a peça 4 o pistão. A força é transmitida da biela para a manivela, e para evitar os pontos mortos que existem nesse mecanismo, utiliza-se um volante solidário ou inercial.



**Figura 2.** Mecanismo curso-manivela

Considera-se como importante este processo de geração de energia elétrica, a possibilidade de reaproveitamento de matéria orgânica que não seria mais utilizada, faz-se necessário conhecer o reservatório de matéria orgânica, ou biomatéria, e elaborar um mecanismo do tipo Cursor-Manivela, que será um controlador de vazão de baixo custo e fácil instalação afim de se ter um maior controle na quantidade de matéria orgânica no fermentador. Biodigestores que não tem espaço reservado para o biogás (como o batelada) ou que não possuem teto móvel para equilibrar a pressão interna causa pelo gás, sofrem um problema do controle da pressão.

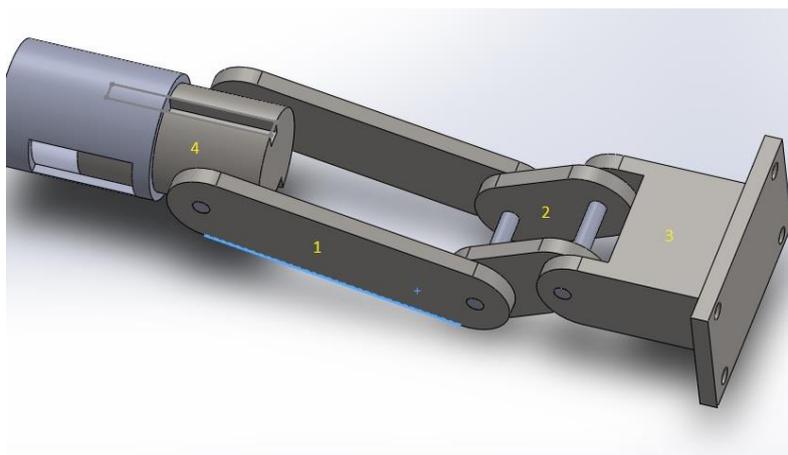
Para tal elabora-se um mecanismo Cursor-Manivela, que visa limitar uma porção de espaço para o gás, gerando assim uma maior segurança, ter um controlador de vazão para ter um maior controle de matéria orgânica no fermentador, que seja de fácil instalação e barato.

## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1 MÉTODOS

Tendo em vista as necessidades de pequenos empresários e fazendeiros, pensou-se em construir um mecanismo do tipo cursor-manivela que seja barato e de simples construção. Por isso, para atender esses objetivos, pensou-se em substituir barras maciças utilizadas na construção da manivela e biela por chapas que ligadas pelos pinos formam uma barra “vazada”. Logo, elimina-se processos de usinagem que seriam necessários nas barras, como a fresagem de um rasgo para encaixe entre as barras, além de deixar o mecanismo barato e simples.

Para o estudo desse mecanismo aplicado aos biodigestores ou reservatórios em geral, construiu-se em escala, e o projeto de construção das peças foi realizado com a ajuda do software SolidWorks. A montagem final do mecanismo é mostrado (Figura 3).

**Figura 3.** Montagem do mecanismo no SolidWorks

Na Figura 3, percebe-se a enumeração de cada parte componente do mecanismo, sendo as partes 1, 2 e 4 a biela, manivela e o pistão respectivamente. A parte 3 é o apoio rotativo que para fins do estudo, não interfere nos cálculos e sua

estrutura depende unicamente da largura da manivela. Os pinos possuem diâmetros de 10 milímetros e comprimento de 82 milímetros, correspondente aos furos e à largura do mecanismo. O cano de entrada, que está ligado ao pistão (Figura 6) possui um rasgo que é por onde o fluido escoará para o biodigestor, além de possuir ranhuras que se encaixam no pistão para limitar seu curso, evitando que o pistão saia totalmente do cano de entrada. O objetivo do pistão é preencher totalmente esse rasgo no cano, para assim, quando o reservatório estiver num dado limite, ele possa encerrar o fluxo do fluido.

A manivela, responsável por iniciar o movimento com sua rotação está mostrada com suas dimensões e detalhes construtivos (Figura 4).

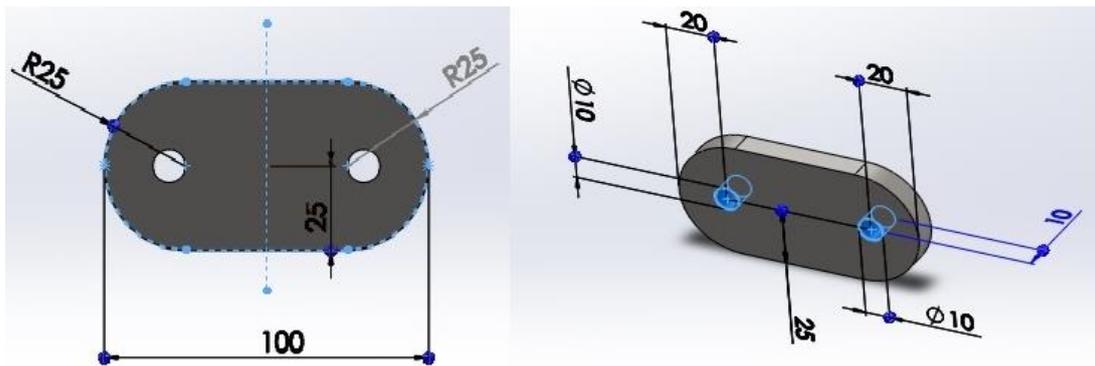


Figura 4. Medidas e detalhes da manivela

A biela, que no mecanismos do tipo cursor-manivela é responsável por transformar o movimento rotativo da manivela em movimento misto, é mostrada (Figura 5) com seus detalhes construtivos.

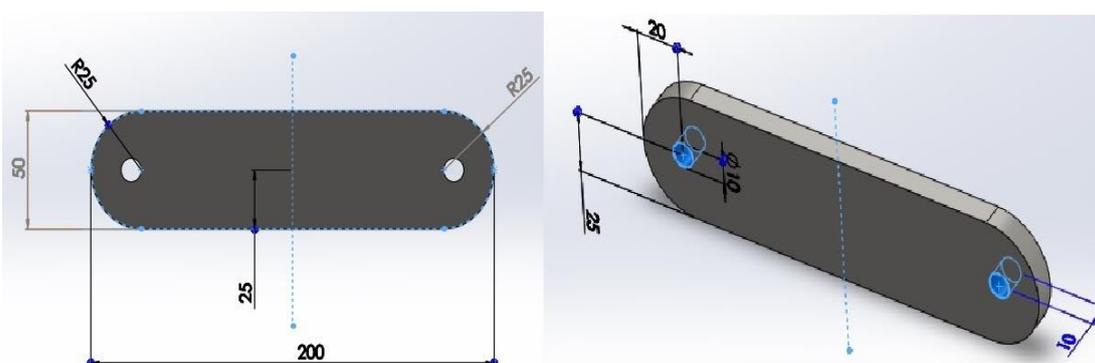


Figura 5. Medidas e detalhes da biela

Para o mecanismo funcionar uma boia é colocada na ligação da biela com a manivela, então quando o biodigestor estiver enchendo e o fluido alcançar a boia, uma força de empuxo será exercida nela e subirá juntamente com o fluido, e assim a manivela irá girar dando início ao movimento. O tamanho da boia e a localização do mecanismo limita o espaço máximo que o fluido ocupará, deixando um reservatório interno para o gás, diminuindo a pressão interna e aumentando a segurança.

O pistão, o elemento que terá movimento de translação devido ao cano de entrada e papel de importância grande na aplicação presente é detalhado na Figura (6).

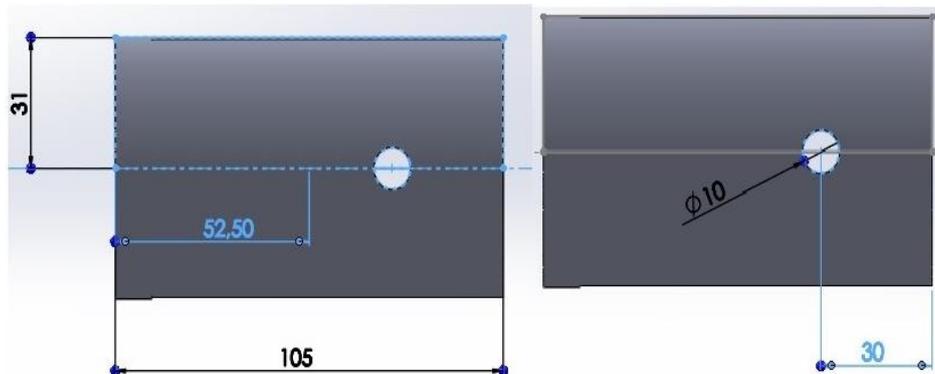


Figura 6. Medidas e detalhes do pistão

## 2.2 Procedimento experimental

Necessitou-se definir certas variáveis, como a área e altura do biodigestor, localização do mecanismo, densidade do fluido, curso máximo do pistão e a vazão. Com a vazão é possível achar a velocidade de subida da boia e impõe-se que seja igual ao da manivela em seu ponto de contato. Aplicando a teoria de dinâmica dos corpos rígidos é possível encontrar a velocidade angular da manivela e, assumindo ela constante, pode-se encontrar o valor do ângulo de curso máximo do mecanismo (ou de repouso nessa aplicação), a velocidade do pistão, assim como sua aceleração pela teoria do mecanismo cursor-manivela. O diagrama cinético da manivela e um desenho esquemático do mecanismo é mostrado a seguir.

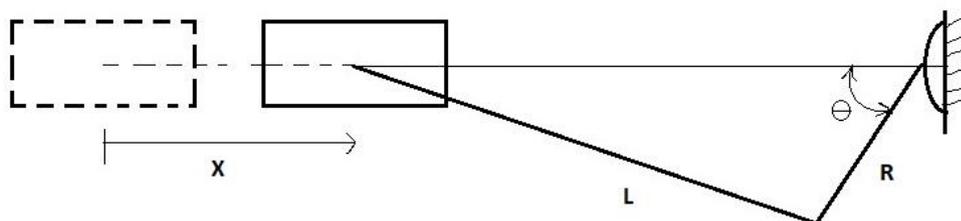
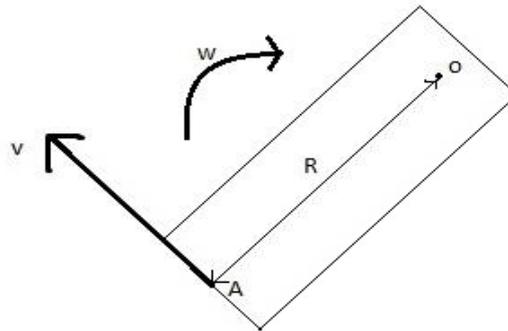


Figura 7. Diagrama esquemático

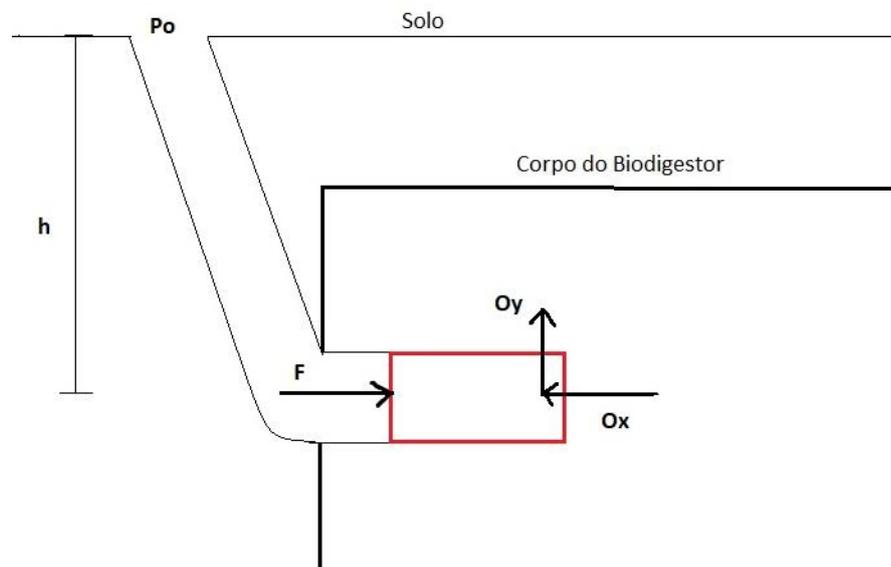
Na Figura (7), ressalta-se que “X” é o curso máximo do pistão para um ângulo “ $\theta$ ”, sendo que  $X=0$  para  $\theta=0$ . “L” e “R” são os comprimentos da biela e manivela, respectivamente.



**Figura 8.** Diagrama cinético da manivela

Na Figura (8), percebe-se a orientação da velocidade “v” sendo tangencial à trajetória de rotação, a velocidade angular “ω” no sentido horário e também o comprimento da manivela “R”.

Por fim, para o sistema funcionar adequadamente necessita-se que a pressão exercida pelo fluido no pistão seja igual a força que o pino exerce sobre ele, quando o mesmo chegar em  $\theta=0$ . Assim, com as forças sendo iguais, atinge-se o equilíbrio e então o pistão não se moverá, cumprindo com o papel de controlar o escoamento do fluido. Um desenho esquemático das forças agindo no pistão é mostrado na Figura (9).



**Figura 9.** Forças agindo no pistão

## 2.2 Equações governantes

$$Q = \frac{A_{bio} h_{bio}}{t_{en}} \quad (\text{Equação 1})$$

Sendo que “Q” é a vazão; “ $A_{bio}$ ” é área da seção transversal do biodigestor; “ $h_{bio}$ ” altura do biodigestor e “ $t_{en}$ ” o tempo de enchimento. Todas essas variáveis são supostas e adequadas para um projeto em escala.

$$V = \frac{Q}{A_{boia}} \quad (\text{Equação 2})$$

Tem-se que “V” é a velocidade de subida da boia, que será igual ao do fluido.

$$V_A = \omega R \quad (\text{Equação 3})$$

“ $V_A$ ” é a velocidade tangencial da manivela no ponto de contato com a boia, e igual a “V”; “ $\omega$ ” igual a velocidade angular da manivela e “R” o comprimento da manivela.

$$X = R(1 - \cos \theta) + \frac{R^2}{2L} \sin^2 \theta \quad (\text{Equação 4})$$

“X” é o curso do pistão; “ $\theta$ ” o ângulo que a manivela faz com a horizontal e “L” o comprimento da biela.

$$V_p = R\omega \left[ \sin \theta + \frac{R}{2L} \sin 2\theta \right] \quad (\text{Equação 5})$$

Sendo que “ $V_p$ ” é a velocidade do pistão.

$$a_p = R\omega^2 \left[ \cos \theta + \frac{R}{L} \cos 2\theta \right] \quad (\text{Equação 6})$$

Sendo que “ $a_p$ ” é a aceleração do pistão.

$$F_{fluido} = P_o A_p + \gamma h A_p \quad (\text{Equação 7})$$

“ $F_{fluido}$ ” é a força que o fluido exerce sobre o pistão; “ $P_o$ ” é a pressão atmosférica; “ $A_p$ ” a área da seção transversal do pistão; “ $\gamma$ ” o peso específico do fluido e “h” a altura do fluido ou localização do pistão em relação ao solo.

$$\sum F_x = m_p a_p \quad (\text{Equação 8})$$

“ $\sum F_x$ ” é o somatório da força no pistão no eixo x e “ $m_p$ ” é a massa do pistão, que pode ser conhecida pelo volume multiplicado pela densidade do material.

## 2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como já discutido, a construção do mecanismo tem como fins ser utilizado para controle de vazão em um biodigestor, dessa forma, para questões iniciais de projeto, torna-se necessário o conhecimento de um biodigestor a respeito de suas dimensões. As dimensões necessárias para tais questões estão representadas na Tabela (1).

**Tabela 1.** Parâmetros do biodigestor

<b>Diâmetro(m)</b>	<b>Altura(m)</b>	<b>Área(m<sup>2</sup>)</b>
0,3	1,5	0,071

Assim como se faz necessário o conhecimento dos parâmetros do biodigestor, para o dimensionamento do pistão é preciso ser sabido alguns valores do mesmo, como posicionamento, densidade de acordo com o material, entres outros que estão presentes na Tabela (2).

**Tabela 2.** Propriedades do pistão

<b>h (m)</b>	<b>dp (m)</b>	<b>cp (m)</b>	<b>Densidade do aço 1020 (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Volume do pistão (m<sup>3</sup>)</b>
0,8	0,062	0,105	7870	0,000317

Sendo “dp” diâmetro do pistão e “cp” comprimento do pistão.

Por meio dos valores conhecidos e demonstrados através da Tabela (1) e Tabela (2), foi possível ser iniciado os cálculos de projeto e desta maneira, ser encontrado valores para parâmetros variáveis (Tabela 3) como vazão “Q”, velocidade de subida da boia “V” e velocidade angular “ $\omega$ ”, tais valores se fazem importantes por influenciarem diretamente o dimensionamento do mecanismo.

**Tabela 3.** Parâmetros variáveis

<b>n</b>	<b>Tempo de enchimento (s)</b>	<b>Vazão (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Velocidade de subida da boia (m/s)</b>	<b><math>\omega</math> (rad/s)</b>
1	600	0,00018	0,0025	0,025
2	900	0,00012	0,0017	0,017
3	1200	0,00009	0,0013	0,013
4	1500	0,00007	0,0010	0,010
5	1800	0,00006	0,0008	0,008

Para os dados representados na Tabela (3), fez-se necessário as equações definidas anteriormente, dessa forma, os dados apresentados para a vazão foram encontrados por meio da Equação (1), Pela Equação (2) e Equação (3), são encontrados os valores para a velocidade de subida e velocidade angular da manivela, respectivamente.

Por intermédio da Tabela (3) representada anteriormente, os tempos de enchimento foram definidos e os demais termos calculados como consequência disso, este estudo de caso é proposto para que possa ser verificado a influência do tempo de enchimento nos outros fatores e componentes do mecanismo.

Tendo o conhecimento das propriedades do pistão (Tabela 2) e seus parâmetros variáveis (Tabela 3) é possível ser encontrado outros importantes fatores referentes ao mecanismos que são “ $V_p$ ” velocidade do pistão e “ $a_p$ ” aceleração do pistão (Tabela 6 e 7), essas duas variáveis são encontradas através da Equação (5) e Equação (6) respectivamente.

**Tabela 5.** Dimensões dos componentes

<b>Componente</b>	<b>Diâmetro (mm)</b>	<b>Comprimento (mm)</b>	<b>Espessura (mm)</b>
Manivela	50	100	10
Biela	50	200	10
Pistão	62	105	-

Tabela 6. Movimento do pistão para  $\theta = \theta_{\text{máx}}$ 

n	Curso máximo do pistão (m)	$\omega$ (rad/s)	$\theta$ máx (rad)	$V_p$ p/ $\theta = \theta_{\text{máx}}$ (m/s)	$a_p$ p/ $\theta = \theta_{\text{máx}}$ (m/s <sup>2</sup> )
1	0,05	0,025	0,868	0,0025	3,53E-05
2	0,05	0,017	0,868	0,0017	1,57E-05
3	0,05	0,013	0,868	0,0013	8,81E-06
4	0,05	0,010	0,868	0,0010	5,64E-06
5	0,05	0,008	0,868	0,0008	3,92E-06

O valor de  $\theta_{\text{máx}}$  foi encontrado por meio da Equação (4), tendo os valores conhecidos de X, R e L, expressos pela Tabela (5) e Tabela (6), onde  $\theta_{\text{máx}}$  implica no maior deslocamento possível para o pistão ou totalmente aberto sendo  $X=0,05\text{m}$ .

Tabela 7. Movimento do pistão para  $\theta=0$ 

n	Curso máximo do pistão (m)	$\omega$ (rad/s)	$V_p$ p/ $\theta=0$ (m/s)	$a_p$ p/ $\theta=0$ (m/s <sup>2</sup> )
1	0,05	0,025	0	0,000094
2	0,05	0,017	0	0,000042
3	0,05	0,013	0	0,000023
4	0,05	0,010	0	0,000015
5	0,05	0,008	0	0,000010

Conhecendo os movimentos exercidos pelo mecanismo, é então possível calcular as forças atuantes sobre o pistão, tais forças estão sendo representadas pela Figura (9). Recorrendo a Equação (7) e Equação (8), e admitindo o valor de  $P_o \cong 101300Pa$ , é possível chegar aos valores apresentados pela Tabela (8).

Tabela 8. Forças no pistão

n	Peso específico do fluido (N/m <sup>3</sup> )	Área da seção transversal do pistão (m <sup>2</sup> )	Força do fluido no pistão (N)	$O_x$ (N)
1	12000	0,0030	334,82	334,82
2	14000	0,0030	339,65	339,65
3	16000	0,0030	344,48	344,48
4	18000	0,0030	349,31	349,31
5	20000	0,0030	354,14	354,14

Os valores apresentados na Tabela (8) para peso específico do fluido foram definidos com o mesmo objetivo dos tempos de enchimento.

O cálculo da área de seção transversal é possível por meio da seguinte Equação (9):

$$A = \frac{\pi * dp^2}{4} \quad (\text{Equação 9})$$

Nota-se que os valores para as forças são iguais pois o sistema está em equilíbrio, dessa maneira é possível deduzir que para o caso  $\theta=0$ .

### 3 CONCLUSÃO

O biodigestor destaca-se como fonte renovável que pode ser desenvolvida por pequenos fazendeiros, que tornar-se-á um meio de energia sustentável, que será muito explorada no futuro, e que se deve buscar uma forma de abaixar os custos.

O biodigestor com o mecanismo do tipo cursor-manivela mostrou-se eficiente, onde a força do fluido que exerce no pistão será igual da reação do pino quando o pistão tampar totalmente a saída, que prova fisicamente que o sistema é funcional e viável. Além disso, comparado com o modelo de barra maciça, é melhor tornando-se mais simples e barato pois não haverá processos de usinagem.

### REFERÊNCIAS

- 1 Folle SM, Marchetti D, Seixas J. Construção e funcionamento de biodigestores. Brasília: Embrapa; 1981.
- 2 Mabie HH, Ocvirk FW. Mecanismos. 2ª Edição. Rio de Janeiro: Livro técnicos e científicos; 1980.
- 3 Hibbeler RC. Dinâmica: Mecânica para engenharia. 10ª Edição. São Paulo: Prentice Hall; 2005.
- 4 Gonçalves, Dos Santos, Weiss e Menezes. O Biodigestor como princípio de sustentabilidade de uma propriedade rural. 2009; 2-5.
- 5 PRS. Biodigestores – Princípio, tipos e viabilidade econômica. 2013[ acesso em 25 de abril 2018]. Disponível em: <https://portalresiduossolidos.com/biodigestores-principio-tipos-e-viabilidade-economica/>.
- 6 PB. O maior biodigestor do mundo. 2014[ acesso em 15 de maio 2018]. Disponível em: <https://www.portaldobiogas.com/o-maior-biodigestor-mundo/>.