INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO,
CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO CEARÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIAS RENOVÁVEIS

Luciano Fernandes de Moura

DIGESTÃO ANAERÓBIA DE RESÍDUOS BOVINOS E SUÍNOS MONITORADA POR UM SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS E USO DO BIOFERTILIZANTE COMO FONTE DE NUTRIENTES NO CULTIVO DE PLANTAS DE GIRASSOL (*Helianthus annuus* L.)

Maracanaú, Ceará

2017

Luciano Fernandes de Moura

DIGESTÃO ANAERÓBIA DE RESÍDUOS BOVINOS E SUÍNOS MONITORADA POR UM SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS E USO DO BIOFERTILIZANTE COMO FONTE DE NUTRIENTES NO CULTIVO DE PLANTAS DE GIRASSOL (*Helianthus annuus* L.)

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Energias Renováveis do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará como requisito para a obtenção do título de mestre em energias renováveis. Área de concentração: Energias Renováveis.

Prof. Dr. Auzuir Ripardo de Alexandria.

Prof. Dr. Franklin Aragão Gondim.

Maracanaú, Ceará

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Instituto Federal do Ceará - IFCE
Sistema de Bibliotecas - SIBI
Ficha catalográfica elaborada pelo SIBI/IFCE, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

M929d Moura, Luciano Fernandes de.
Digestão anaeróbia de resíduos bovinos e suínos monitorada por um sistema de aquisição de dados e uso do biofertilizante como fonte de nutrientes no cultivo de plantas de girassol (Helianthus annuus L.) / Luciano Fernandes de Moura. - 2017.
104 f. : il.

Dissertação (Mestrado) - Instituto Federal do Ceará, Mestrado em Energias Renováveis, Campus Maracanaú, 2017.
Orientação: Prof. Dr. Auzuir Ripardo de Alexandria.
Coorientação: Prof. Dr. Franklin Aragão Gondim.

1. RESÍDUOS SÓLIDOS. 2. AQUISIÇÃO DE DADOS. 3. BIOFERTILIZANTE. 4. GIRASSOL. I. Titulo.
CDD 620.91

LUCIANO FERNANDES DE MOURA

DIGESTÃO ANAERÓBIA DE RESÍDUOS BOVINOS E SUÍNOS MONITORADA POR UM SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS E USO DO BIOFERTILIZANTE COMO FONTE DE NUTRIENTES NO CULTIVO DE PLANTAS DE GIRASSOL *(Helianthus annuus L.)*

Dissertação submetida à Coordenação do Curso de Pós-graduação em Energias Renováveis do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Energias Renováveis, área de concentração Energias Renováveis.

Aprovada em 21 / 08 / 2017.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Auzuir Ripardo de Alexandria (Orientador)
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE

Prof. Dr. Daniel Albiero
Universidade Federal do Ceará - UFC

Prof. Dr. Franklin Aragão Gondim
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE

Prof. Dr. Francisco Nélio Costa Freitas
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, por ser essencial em minha vida, autor de meu destino, meu guia, socorro presente na hora da angústia e por ter me dado saúde e força para superar as dificuldades. À minha família, que esteve e continua sempre presente em todos os momentos da minha vida, sem o apoio de vocês seria impossivel seguir adiante.

Agradecimentos

Agradeço a Deus primeiramente pelo dom da vida, por colocar pessoas incríveis em meu caminho e que hoje se tornam essenciais à minha felicidade, pelas oportunidades e livramentos, paz, serenidade, força e sabedoria para enfrentar os obstáculos e dificuldades ao longo do caminho. Pela capacitação, sem a qual não seria possível a elaboração desde trabalho.

Aos meus pais Tarcísio Horário de Moura e Jesuíta de Amorim Fernandes, meu irmão Francisco Fernandes de Moura, e a minha segunda família Maria Alves Maia Monteiro, José Monteiro de Oliveira, Nikellyo Kênio Maia Monteiro e Nikelyne Keyke Maia Monteiro, pelo amor, dedicação e nos momentos difíceis mostrar-me o caminho certo a seguir.

A todos aqueles que acreditaram na realização deste trabalho e deram-me forças e estimulo para dar prosseguimento a esta pesquisa e obter sucesso. Em especial, o meu orientador, Dr. Auzuir Ripardo de Alexandria, e ao co-orientador, Dr. Franklin Aragão Gondim e a todos que fazem parte da equipe do laboratório de bioquímica do Campus Maracanaú, em especial, a Francisco Holanda Nunes Junior, Rifandreo Monteiro Barbosa, Paulo Ovidio Batista de Brito, Kaio Martins, Julyanne Fonteles de Arruda, Francisca Raíssa da Silva Costa, Larissa Morais Sena e Gabriela Soares Gudergues.

A todos que fazem parte da Estação Agrometeorológica do Centro de Ciências Agrárias (CCA), pertencente ao Departamento de Engenharia Agrícola (DENA), na Universidade Federal do Ceará - UFC – Campus do Pici, pelo o espaço cedido para a realização de parte da pesquisa, em especial, ao Professor Dr. Daniel Albiero e ao Stênio Wellington Sousa de Lima.

Aos meus amigos Pedro Felipe Sousa Teixeira pela humildade com que me ouviu e me auxiliou e um agradecimento muito especial a Matheus Xavier Rocha por todo o apoio que me prestou na digitação desse trabalho no LaTeXe a todos que fazem parte do Laboratório de Ensaios Mecânicos - LEM pela amizade e motivação.

A todos da minha turma de mestrado em Energias Renováveis que nos períodos de dificuldade estiveram juntos e pela disponibilidade de tempo mesmo quando este era tão curto. Em especial, as minhas amigas: Reullyanne Freitas de Aguiar, Francisca Belkise de Freitas Moreirae a Francisca Ítala da Silva Paiva pela força e ajuda nas temporadas de angústia. A minha companheira de luta Rayssa Rafaela de Lima Menezes, que sempre esteve ao meu lado nos momentos mas difíceis e fez-me acreditar que seria possível a realização desse trabalho. Aos Meus amigos Lucas Gabriel da Silva e Francisca Valéria Nogueira Matos, amigos que a carreira docente mim presenteou. E ao meu grande amigo

Jackson Diego de Freitas Lima (*em memória*).

A todos os professores e funcionários do Programa de Pós-Graduação em Energias Renováveis - PPGER do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE - Campus Maracanaú, que colaboraram e construíram bases sólidas no meu desenvolvimento e aprendizagem para o crescimento profissional. Seus nomes são inesquecíveis e por isso, dedico - lhe minha profunda admiração e respeito, em especial, ao Professor Dr. Francisco Nélio Costa Freitas e ao Professor Dr. João Carlos da Costa Assunção.

Aos meus Professores da Graduação que me ajudaram a chegar até aqui, Luciana Medeiros Bertini, Leonardo Alcântara Alves, Alcivan Almeida Evagelista Neto e em especial a Francisco Felipe Maia da Silva, pela formidável orientação para que eu ingressasse no mestrado, incentivo, dedicação, paciência, amizade e respeito.

A Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico - FUNCAP, pela concessão da bolsa ao longo do meu curso. E por fim, a todos que contribuíram direta ou indiretamente para que este trabalho fosse concretizado, acreditando em meu potencial e torceram pelo meu sucesso. Muito obrigado!

Resumo

Diversos são os desafios enfrentados pela sociedade. Dentre estes, podem-se citar os resíduos sólidos gerados pelo mundo, isso devido ao seu grande potencial de contaminação e degradação do meio ambiente. Dentre os vários tipos de resíduos sólidos, os dejetos de animais (biomassa), fazem parte de uma parcela significativa desses rejeitos nos modos de produção agropecuária. Partindo dessa problemática, o presente trabalho teve como objetivo estudar a digestão anaeróbia dos resíduos bovinos e suínos monitorados através de um sistema de aquisição de dados, bem como verificar a viabilidade do uso de diferentes concentrações do biofertilizante produzido como fonte de nutrientes no crescimento inicial de plântulas de girassol sob condições de casa de vegetação. Na construção do sistema de aquisição de dados foi utilizado um computador (*Raspberry Pi*) de pequeno porte desenvolvido pela *Raspberry Pi Foundation*. Optou-se por esse modelo por se tratar-se de um instrumento bastante simples, porém, capaz de realizar várias tarefas específicas, além do uso de diversos sensores de baixo custo no mercado. Fez-se depois o estudo cinético do processo, com quatro ensaios, dois in natura com proporções de 100% de dejeto bovino e 100% dejeto suíno e os outros dois se utilizando do ensaio in natura com proporções de mistura de 50%/50% e 75%/25% de dejeto bovino e dejeto suíno respectivamente. Fez-se o estudo com o biofertilizante em dois experimentos distintos utilizando os ensaios in natura nas proporções de 100%. As sementes de girassol utilizadas foram as cultivar BRS 323 adquirida junto à EMBRAPA Produtos e Mercados. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em dois esquema fatorial de 4 x 4: quatro concentrações (0; 40; 80 e 120 kg N ha^{-1}) x quatro períodos de coletas (14; 21; 25 e 29 dias após a semeadura) para as variáveis número de folhas (NF), diâmetro do coleto (DC) e altura da parte aérea (APA) e 4 x 3: quatro concentrações (0; 40; 80 e 120 kg N ha^{-1}) x três períodos de coletas (21, 25 e 29 dias após a semeadura) para matéria fresca da parte aérea (MFPA) e matéria seca da parte aérea (MSPA), com cinco repetições contendo duas plantas. Os dados coletados foram submetidos à regressão polinomial utilizando-se o programa estatístico sisvar 5.4, os valores de raízes foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo *software Sigma Plot* 11.0. Mediante os resultados obtidos, concluiu-se que a utilização do sistema de aquisição de dados contribuiu de forma significativa para o monitoramento do processo de biodigestão anaeróbia ao longo dos estudos e que o uso do biofertilizante como fonte nutricional na cultura do girassol nas condições empregadas no trabalho influenciou significativamente, pois promoveu incrementos em todos as variáveis analisadas em relação ao controle (ausência de biofertilizante), especialmente no tratamento de 120 kg N ha^{-1}. Deste modo, é possível afirmar que os biofertilizantes produzidos podem ser uma alternativa viável na substituição dos fertilizantes inorgânico.

Palavras-chaves:Resíduos Sólidos. Aquisição de Dados. Biofertilizante. Girassol.

Abstract

There are several challenges facing society. Among these, we can mention the solid waste generated by the world, due to its great potential of contamination and degradation of the environment. Among the various types of solid waste, animal waste (biomass) is part of a significant portion of these wastes in agricultural production methods. The objective of this study was to study the anaerobic digestion of bovine and monitored pig residues through a data acquisition system, as well as to verify the viability of using different concentrations of the biofertilizer produced as a source of nutrients in the initial growth of Sunflower seedlings under greenhouse conditions. In the construction of the data acquisition system a small computer (*Raspberry Pi*) developed by the *Raspberry Pi Foundation* was used. This model was chosen because it is a very simple instrument, but capable of performing several specific tasks, in addition to the use of several low cost sensors in the market. The kinetic study of the process was then carried out with four assays, two in natura with proportions of 100% bovine and 100% swine, and the other two using the in-nature assay with 50%/50% and 75%/25% of bovine and swine manure respectively. The biofertilizer was tested in two separate experiments using 100% in natura assays. The sunflower seeds used were cultivars BRS 323 purchased from EMBRAPA Produtos e Mercados. The experimental design was completely randomized in two 4 x 4 factorial schemes: four concentrations (0, 40, 80 and 120 kg N ha^{-1}) x four collection periods (14, 21, 25 and 29 days after the sowing) for the number of leaves (NF), collection diameter (DC) and shoot height (APA) and 4 x 3: four concentrations (0, 40, 80 and 120 kg N ha^{-1}) and three collection periods (21, 25 and 29 days after sowing) for fresh shoot (MFPA) and shoot dry matter (MSPA), with five replicates containing two plants. The collected data were submitted to polynomial regression using the statistical program sisvar 5.4, root values were submitted to analysis of variance (ANOVA) and the means compared by *software Sigma Plot* 11.0. Based on the results, it was concluded that the use of the data acquisition system contributed significantly to the monitoring of the anaerobic biodigestion process throughout the studies and that the use of the biofertilizer as a nutritional source in the sunflower crop under the conditions used in the work influenced significantly, since it promoted increases in all variables analyzed in relation to the control (absence of biofertilizer), especially in the treatment of 120 kg N ha^{-1}. Thus, it can be stated that biofertilizers produced may be a viable alternative in the substitution of inorganic fertilizers.

Key-words: Solid Fertilizers. Data Acquisition. Biofertilizer. Sunflower.

Lista de abreviaturas e siglas

BA	Biodigestão anaeróbia
CE	Ceará
DA	Digestão anaeróbia
DAS	Dias após a semeadura
DENA	Departamento de Engenharia Agricola
EMATER	Empresa de Assistência técnica e extensão rural
EUA	Estados Unidos da América
FEVC	Fazenda Experimental do Vale do Curu
GPIO	Entrada/Saída de uso geral (General purpose input/output)
IBGE	Instituto brasileiro de geografia e estatística
ONU	Organização das Nações Unidas
PVC	Cloreto de polivinil
RPI	Raspberry PI
UEB	Universidade Estadual da Bahia
UFC	Universidade Federal do Ceará
WMO	World Meteorological Organization

Lista de ilustrações

Figura 1 – Biodigestor modelo chinês. 22
Figura 2 – Biodigestor modelo indiano. 23
Figura 3 – *Raspberry Pi* 1 *model B*. 26
Figura 4 – Raspberry Pi ZERO model A+. 27
Figura 5 – *Raspberry Pi* modelo A e B. 29
Figura 6 – Biodigestor caseiro. 35
Figura 7 – Biodigestor modelo canadense. 35
Figura 8 – Modelos de biodigestores e seus principais componentes. 36
Figura 9 – Divisões do biodigestor. 37
Figura 10 – Esquema geral do processo de biodigestão anaeróbia. 38
Figura 11 – Fluxograma da metodologia utilizada neste trabalho. 46
Figura 12 – Diagrama esquemático do funcionamento do sistema de aquisição de dados. 47
Figura 13 – Configuração dos pinos dos DS18B20. 48
Figura 14 – DS18B20 encapsulado e impermeável. 49
Figura 15 – Sensor BMP180 utilizado no projeto. 49
Figura 16 – Módulos do sensor utilizado. 50
Figura 17 – Sensor de gás MQ-4. 51
Figura 18 – Sensibilidade característica do MQ-4. 51
Figura 19 – Foto ilustrativa do posicionamento dos sensores utilizados no experimento. 52
Figura 20 – Protótipo de biodigestor indiano proposto. 53
Figura 21 – Gasômetro do biodigestor. 54
Figura 22 – Paquímetro digital. 56
Figura 23 – Medidor portátil dos teores relativos de clorofila – Minolta SPAD – 502. 57
Figura 24 – Gráfico com os valores dos sensores de temperatura. 58
Figura 25 – Gráfico com os valores dos sensores de pH. 64
Figura 26 – Gráfico com os valores dos sensores de pressão. 65
Figura 27 – Plântulas de girassol aos 29 dias após semeadura (DAS), crescendo sob diferentes concentrações de biofertilizante suíno em condições de casa de vegetação. 67
Figura 28 – Teores relativos de clorofila aos 14 e 29 dias após semeadura de plântulas de girassol submetidas a diferentes concentrações de biofertilizante suíno. As barras representam os valores das médias. Valores seguidos por letras distintas representam diferenças estatísticas entre os tratamentos de acordo com teste de Tukey ($P \leq 0{,}05$). 68

Figura 29 – Diâmetro do coleto (A), altura da parte aérea (B) e número de folhas (C) de plântulas de girassol, submetidas a diferentes concentrações de biofertilizante suíno como fonte de N-total em diferentes períodos de coleta em dias após a semeadura (DAS). Os valores representam as média de 5 repetições ± os erros padrão. *Significativo a 0,01 de probabilidade; ** Significativo a 0,05 de probabilidade; ns Não Significativo. 69
Figura 30 – Matéria fresca da parte aérea (MFPA) e matéria seca da parte aérea (MSPA), de plântulas de girassol, submetidas a diferentes concentrações de biofertilizante suíno como fonte de N-total em diferentes períodos de coleta em dias após a semeadura (DAS). Os valores representam as média de 5 repetições ± os erros padrão. *Significativo a 0,01 de probabilidade; ** Significativo a 0,05 de probabilidade; ns Não Significativo. 71
Figura 31 – Matéria fresca (A) e seca (B) das raízes de plântulas de girassol, submetidas a diferentes concentrações de biofertilizante suíno como fonte de N-total aos 29 DAS após a semeadura. As barras representam os valores das médias de 5 repetições. Valores seguidos por letras distintas representam diferenças estatísticas entre os tratamentos de acordo com teste de Tukey ($P \leq 0,05$) 72
Figura 32 – Matéria fresca (A) e seca (B) totais aos 29 dias após semeadura de plântulas de girassol submetidas a diferentes concentrações de biofertilizante suíno. As barras representam os valores das médias de 5 repetições. Valores seguidos por letras distintas representam diferenças estatísticas entre os tratamentos de acordo com teste de Tukey ($P \leq 0,05$). 73
Figura 33 – Plântulas de girassol aos 29 dias após semeadura (DAS), crescendo sob diferentes concentrações de biofertilizante bovino (doses de N) em condições de casa de vegetação. 76
Figura 34 – Teores relativos de clorofila aos 14 e 29 dias após semeadura de plântulas de girassol submetidas a diferentes concentrações de biofertilizante bovino. As barras representam os valores das médias. Valores seguidos por letras distintas representam diferenças estatísticas entre os tratamentos de acordo com teste de Tukey ($P \leq 0,05$). 76
Figura 35 – Diâmetro do coleto (A), altura da parte aérea (B) e número de folhas (C) de plântulas de girassol, submetidas a diferentes concentrações de biofertilizante bovino como fonte de N-total em diferentes períodos de coleta em dias após a semeadura (DAS). Os valores representam as média de 5 repetições ± os erros padrão. *Significativo a 0,01 de probabilidade; ** Significativo a 0,05 de probabilidade; ns Não Significativo. 77

Figura 36 – Matéria fresca da parte aérea (MFPA) e matéria seca da parte aérea (MSPA), de plântulas de girassol, submetidas a diferentes concentrações de biofertilizante bovino como fonte de N-total em diferentes períodos de coleta em dias após a semeadura (DAS). Os valores representam as média de 5 repetições ± os erros padrão. *Significativo a 0,01 de probabilidade; ** Significativo a 0,05 de probabilidade; ns Não Significativo. 79
Figura 37 – Matéria fresca (A) e seca (B) das raízes de plântulas de girassol, submetidas a diferentes concentrações de biofertilizante bovino como fonte de N-total aos 29 DAS após a semeadura. As barras representam os valores das médias de 5 repetições. Valores seguidos por letras distintas representam diferenças estatísticas entre os tratamentos de acordo com teste de Tukey (P ≤ 0,05). 80
Figura 38 – Matéria fresca (A) e seca (B) totais aos 29 dias após semeadura de plântulas de girassol submetidas a diferentes concentrações de biofertilizante bovino. As barras representam os valores das médias de 5 repetições. Valores seguidos por letras distintas representam diferenças estatísticas entre os tratamentos de acordo com teste de Tukey (P ≤ 0,05). 81

Lista de símbolos

Ca	Elemento químico cálcio
$C_6H_{12}O_6$	Glicose
C_{15}	15 Carbono na cadeia
C_{17}	17 Carbono na cadeia
C:N	Razão carbono nitrogênio
$CaCl_2$	Fórmula química do cloreto de cálcio
CH_4	Metano
CH_3COOH	Ácido acético
cm	Centímetro
CO_2	Dióxido de carbono
CPU	Unidade central de processamento
g	Grama
GB	Gigabyte
GHZ	Gigahertz
H_2	Gás hidrogênio
$HDMI$	Interface Multimídia de Alta Definição (High-Definition Multimidia Interface)
H_2O	Fórmula química da água
H_2S	Sulfeto de hidrogênio
K	Elemento químico potássio
K_2O	Fórmula do composto óxido de potássio
kg	Quilograma
L	Litro
Mg	Elemento químico magnésio

MHZ	Mega Hertz
m^3	Metro cúbico
mm	Milímetro
N	Elemento químico nitrogênio
N-t	Nitrogênio total
NH_3	Amônia
O_2	Gás oxigênio
P	Elemento químico fósforo
P-t	Fósforo total
ppm	Parte por milhão
pH	Potencial hidrogeniônico
P_2O_5	Fórmula do composto pentóxido de fósforo
%	Por cento

Lista de tabelas

Tabela 1 – População de animais bovinos no Brasil, Ceará e no município de Maracanaú-CE. 20
Tabela 2 – População de animais suínos no Brasil, Ceará e no município de Maracanaú. 21
Tabela 3 – Produção de dejetos gerados por uma noite de confinamento no estado do Ceará- Brasil e no município de Maracanaú-CE. 21
Tabela 4 – Características de *hardware* do RPI ZERO *model* A+. 28
Tabela 5 – Dispositivos de *hardware* do RPI 1 dos modelos A e B. 29
Tabela 6 – Dispositivos de *hardware* do RPI 1 em comum aos modelos A e B. . . 29
Tabela 7 – Trabalhos recentes de monitoramento de biodigestores. 31
Tabela 8 – Materiais utilizados para a construção do protótipo. 54
Tabela 9 – Leituras do sensor de temperatura da câmara de digestão - Biodigestor 1. 59
Tabela 10 – Leituras do sensor de temperatura do gasômetro - Biodigestor 1. . . . 60
Tabela 11 – Leituras do sensor de temperatura da câmara de digestão - Biodigestor 2. 60
Tabela 12 – Leituras do sensor de temperatura do gasômetro - Biodigestor 2. 61
Tabela 13 – Leituras do sensor de temperatura da câmara de digestão - Biodigestor 3. 61
Tabela 14 – Leituras do sensor de temperatura do gasômetro - Biodigestor 3. 62
Tabela 15 – Leituras do sensor de temperatura da câmara de digestão - Biodigestor 4. 62
Tabela 16 – Leituras do sensor de temperatura do gasômetro - Biodigestor 4. 63
Tabela 17 – Caracterização físico-química do biofertilizante suíno e bovino produzidos no experimento. 66
Tabela 18 – Resumos das análises de variância referentes ao número de folhas (NF), diâmetro do coleto (DC), altura da parte aérea (APA) de plantas de girassol submetidas a diferentes concentrações de biofertilizante suíno como fonte de N-total ao longo do tempo. 66
Tabela 19 – Resumos das análises de variância referentes à matéria fresca da parte aérea (MFPA) e matéria seca da parte aérea (MSPA) de plantas de girassol submetidas a diferentes concentrações de biofertilizante suíno. 67
Tabela 20 – Resumos das análises de variância referentes ao número de folhas (NF), diâmetro do coleto (DC), altura da parte aérea (APA) de plantas de girassol submetidas a diferentes concentrações de biofertilizante bovino como fonte de N-total ao longo do tempo. 74
Tabela 21 – Resumos das análises de variância referentes à matéria fresca da parte aérea (MFPA) e matéria seca da parte aérea (MSPA) de plantas de girassol submetidas a diferentes concentrações de biofertilizante bovino. 75
Tabela 22 – Custo dos materiais utilizados no projeto. 96

Tabela 23 – Valores das médias diárias e desvio padrão sensor de pH - Biodigestor 1. 97
Tabela 24 – Valores das médias diárias e desvio padrão sensor de pH - Biodigestor 2. 98
Tabela 25 – Valores das médias diárias e desvio padrão sensor de pH - Biodigestor 3. 99
Tabela 26 – Valores das médias diárias e desvio padrão sensor de pH - Biodigestor 4.100
Tabela 27 – Valores das médias diárias e desvio padrão do sensor de Pressão em hPA- Biodigestor 1. 101
Tabela 28 – Valores das médias diárias e desvio padrão do sensor de Pressão em hPA- Biodigestor 2. 102
Tabela 29 – Valores das médias diárias e desvio padrão do sensor de Pressão em hPA- Biodigestor 3. 103
Tabela 30 – Valores das médias diárias e desvio padrão do sensor de Pressão em hPA- Biodigestor 4. 104

Sumário

Lista de ilustrações **10**

1 INTRODUÇÃO **20**
1.1 Justificativa **23**
1.2 Produção científica **24**
1.3 Objetivo geral **24**
1.3.1 Objetivos específicos 24
1.4 Organização deste trabalho **25**

2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS **26**
2.1 Sistema de aquisição de dados **26**
2.1.1 Raspberry Pi 26
2.1.2 *Hardware* 28
2.1.3 *Software* 30
2.2 Breve história dos biodigestores **31**
2.2.1 Biodigestores no mundo 31
2.2.2 Biodigestores no Brasil 33
2.3 Modelos de biodigestores **34**
2.3.1 Modelo caseiro 34
2.3.2 Modelo canadense 35
2.3.3 Comparativo dos modelos de biodigestores 36
2.4 A escolha do tipo de biodigestor **37**
2.5 Processo de biodigestão anaeróbia **38**
2.5.1 Hidrólise 38
2.5.2 Acidogênese 39
2.5.3 Acetogênese 39
2.5.4 Metanogênese 40
2.6 Parâmetros relevantes na biodigestão anaeróbia **41**
2.6.1 Temperatura 41
2.6.2 pH 41
2.6.3 Teor de água 41
2.6.4 Concentração de nutrientes 42
2.6.5 Tempo de retenção 42
2.7 Produtos gerados no processo de biodigestão **42**
2.7.1 Biogás 42
2.7.2 Biofertilizante 43

2.8 Cultura do girassol . . . 43

3 MATERIAL E MÉTODOS . . . 45
3.1 Localização e coletas das amostras para a produção do biofertilizante e coleta de dados do biodigestor . . . 45
3.2 Delineamento experimental . . . 45
3.2.1 Sensores . . . 47
3.2.1.1 Sensor de temperatura DS18B20 . . . 48
3.2.1.2 Sensor digital de pressão BMP180 . . . 49
3.2.1.3 Sensor de pH . . . 50
3.2.1.4 Sensor de gás MQ-4 . . . 50
3.2.1.5 Posicionamento dos sensores . . . 51
3.2.2 Montagem do protótipo . . . 52
3.2.3 Materiais utilizados . . . 53
3.2.4 Carga do biodigestor . . . 54
3.2.5 Aplicação dos biofertilizantes produzidos na cultura do girassol . . . 55
3.2.5.1 Condições experimentais, material vegetal e tratamentos . . . 55
3.2.6 Coletas dos dados e do material vegetal . . . 56
3.2.7 Delineamento experimental e análises estatísticas . . . 57

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO . . . 58
4.1 Sistema de aquisição de dados . . . 58
4.2 Viabilidade do biofertilizante produzido na cultura do girassol 65
4.2.1 Análises físico-químicas . . . 65
4.2.2 Biofertilizante suíno . . . 66
4.2.3 Biofertilizante bovino . . . 74

5 CONCLUSÕES . . . 83
5.1 Trabalhos futuros . . . 83

REFERÊNCIAS . . . 85

APÊNDICE A – CUSTOS DO PROJETO . . . 96

APÊNDICE B – SENSOR DE PH BIODIGESTOR 1 . . . 97

APÊNDICE C – SENSOR DE PH BIODIGESTOR 2 . . . 98

APÊNDICE D – SENSOR DE PH BIODIGESTOR 3 . . . 99

APÊNDICE E – SENSOR DE PH BIODIGESTOR 4 . . . 100

APÊNDICE F – SENSOR DE PRESSÃO BIODIGESTOR 1 101

APÊNDICE G – SENSOR DE PRESSÃO BIODIGESTOR 2 102

APÊNDICE H – SENSOR DE PRESSÃO BIODIGESTOR 3 103

APÊNDICE I – SENSOR DE PRESSÃO BIODIGESTOR 4 104

1 Introdução

A excessiva produção de resíduos sólidos se apresenta como um grande desafio às sociedades devido ao seu grande potencial de contaminação e degradação do meio ambiente (SILVA et al., 2015). Diante deste fato, a busca por políticas voltadas para o tratamento desses resíduos bem como o desenvolvimento de projetos para amenizar a crise energética existente são bastante discutidas. É nesse cenário preocupante que as mais diversas fontes de energias existentes, sejam elas renováveis ou não renováveis merecem uma atenção toda especial (GASPAR, 2003).

Fontes de energias não renováveis, são aquelas cujas as reservas se encontram na natureza, porém de forma limitada e sua constante utilização leva ao esgotamento em curto prazo. Alguns exemplos de energia não renovável são: petróleo, gás natural, carvão mineral, urânio e derivados. Já as fontes renováveis de energia são todas aquelas ditas inesgotáveis, provenientes de ciclos naturais, que não alteram o balanço térmico do planeta e se configuram como um conjunto de fontes de energias que podem ser chamadas de não-convencionais. Dentre as principais fontes renováveis, destaca-se a solar (NEILL; HASHEMI; LEWIS, 2016), a maremotriz (DU et al., 2014), a geotérmica (TEMPLETON; HASSANI; GHOREISHI-MADISEH, 2016), a eólica (DAI et al., 2015), a hidráulica (THORBURN; LEIJON, 2005) e a biomassa (CARNEIRO; FERREIRA, 2012).

Dentre os vários tipos de resíduos sólidos que podem ser gerados no mundo, os dejetos de animais (Biomassa) fazem parte de uma parcela significativa desses rejeitos nos modos de produção agropecuária. De acordo com dados do Censo Agropecuário 2014, fornecidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a população de bovinos e suínos apresenta-se com um número bastante elevado, isso devido ao crescimento significativo da demanda mundial por alimentos, o que deixa ainda mais evidente a magnitude do problema e a necessidade de novos mecanismos de tratamentos desses resíduos. Os dados da população de bovinos e suínos no Brasil, no Ceará e no município de Maracanaú/CE, são apresentados nas Tabelas 1 e 2 (BRASIL, 2014).

Tabela 1 – População de animais bovinos no Brasil, Ceará e no município de Maracanaú-CE.

Localidade	**Números de Animais (Cabeças)**
Brasil	212.343.932
Ceará	2.597.139
Maracanaú/CE	2.517

Fonte: adaptado de Brasil (2014).

Tabela 2 – População de animais suínos no Brasil, Ceará e no município de Maracanaú.

Localidade	**Números de Animais (Cabeças)**
Brasil	37.929.357
Ceará	1.188.106
Maracanaú/CE	3.289

Fonte: adaptado de Brasil (2014).

Esses dados se tornam ainda mais preocupantes quando se analisa o volume de dejetos gerados por dia de confinamento em nível estadual e municipal, baseando-se em dados de Oliver et al. (2008), conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 – Produção de dejetos gerados por uma noite de confinamento no estado do Ceará- Brasil e no município de Maracanaú-CE.

ESTADO DO CEARÁ-BRASIL				
Localidade	Espécie	Dejetos por Animal (kg)	Números de Animais (Cabeças)	Total Gerado (kg)
Ceará	Bovino	7	2.597.139	18.179.973
	Suíno	4	1.188.106	4.752.424
MUNICÍPIO DE MARACANAÚ-CE				
Maracanaú/CE	Bovino	7	2.517	17.619
	Suíno	4	3.289	13.156

Fonte: Adaptado de Oliver et al. (2008).

Nas Tabelas 1 e 2 observa–se que a população de animais é alta, e a geração de resíduos cresce na mesma proporção (Tabela 3), necessitando nesse caso de tratamento adequado para que não ocorram maiores problemas ambientais.

Em particular, quando se trata de dejetos animais, vale ressaltar que existem áreas em que a criação de animais alcança proporções industriais, gerando muitas vezes desequilíbrios entre produção vegetal e animal, o que leva à geração de uma quantidade muito superior de dejetos do que a produção agrícola pode receber. Deste modo, pode haver descarga descontrolada de dejetos, gerando problemas de grandes proporções como: a contaminação de lagos e rios, a infiltração de água contaminada no lençol freático e o desenvolvimento de moscas são alguns dos exemplos de poluição ambiental provocada pelos diversos sistemas de confinamento desses resíduos (POHLMANN, 2000).

Partindo dessa problemática, o desenvolvimento e implementação de tecnologias alternativas, visando à geração de energia a custos reduzidos para este segmento, vem ganhando papel de destaque mundial. De acordo com Al-Masri (2001), os impactos ambientais provocados pelos dejetos, podem ser minimizados utilizando-se de tecnologias de reaproveitamento energético dos seus nutrientes.

Para Angonese et al. (2006), os sistemas de aproveitamento da biomassa para fins energéticos no meio rural, é um meio facilitador para atingir a sustentabilidade da

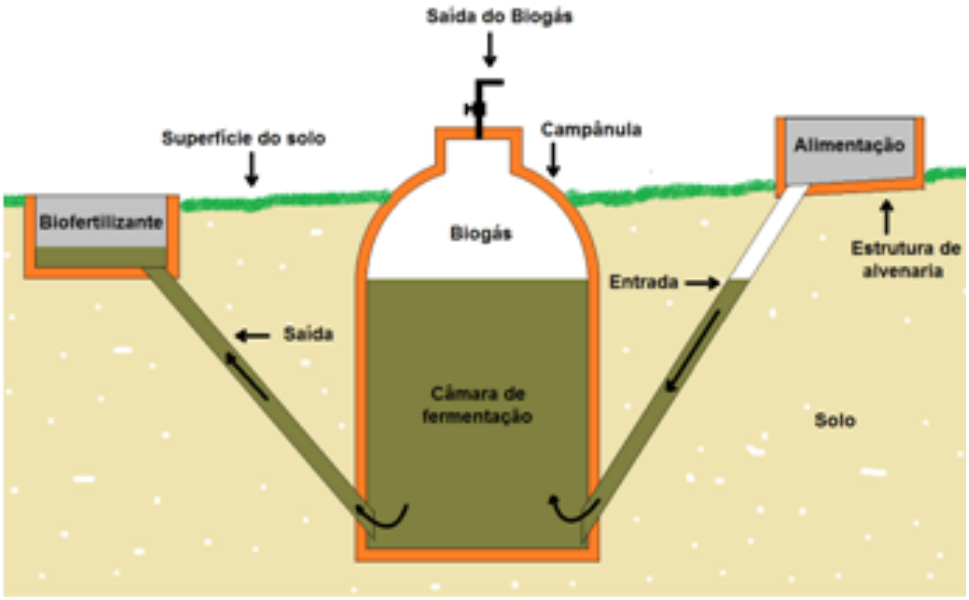
produção em função da disponibilidade de biomassa nas propriedades agrícolas, do grande potencial de geração de energia, da diminuição no potencial poluidor dos resíduos, da redução na pressão sobre os recursos naturais e economia de recursos energéticos.

Diversas são as alternativas tecnológicas de aproveitamento da biomassa para geração de energia. Uma delas vem ganhando destaque nesse cenário preocupante é a biodigestão anaeróbia (BA) desses resíduos, pela implantação de biodigestores (KUNZ; HIGARASHI; OLIVEIRA, 2005).

Como ressaltado por diversos autores (COLDEBELLA et al., 2006; SAKAR; YETILMEZSOY; KOCAK, 2009; SAYED et al., 1988; AMARAL et al., 2004), a tecnologia da biodigestão anaeróbia é uma alternativa promissora para o tratamento de dejetos de animais, pois, além de permitir a redução do potencial poluidor e dos riscos sanitários dos dejetos ao mínimo, promove a geração do biogás, que é utilizado como fonte de energia alternativa e a produção de biofertilizante, que é a matéria orgânica após sofrer o processo de digestão anaeróbia. O biofertilizante é um recurso de valor expressivo já que pode ser usado para potencializar a agricultura através da adubação de cultivos.

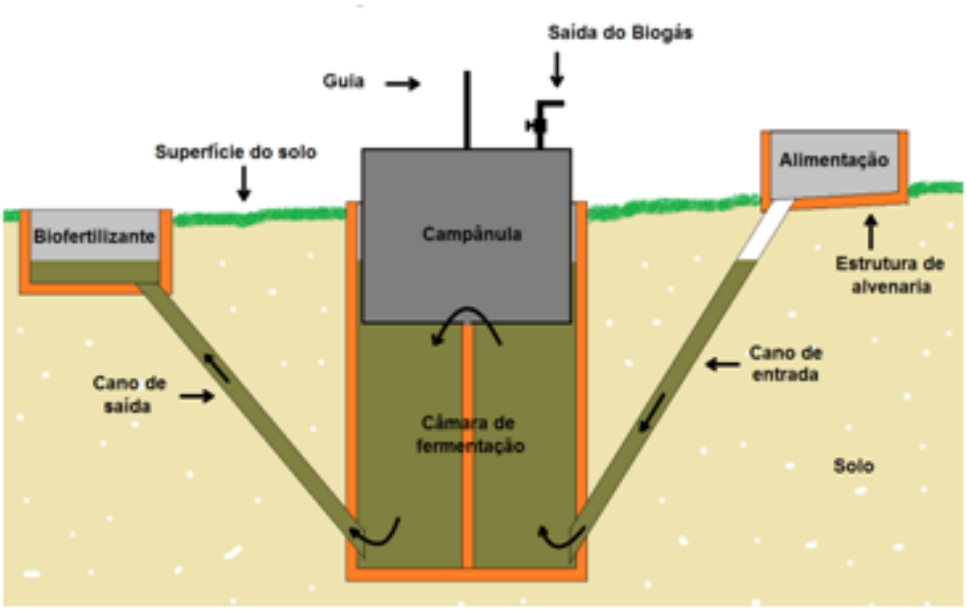
Embora para muitos seja uma tecnologia nova, a BA foi desenvolvida na década de 90 na Ásia, especialmente nos países China e Índia. Os chineses, buscavam nessa tecnologia o biofertilizante necessário para a produção dos alimentos, e os indianos, utilizavam os biodigestores para cobrir o imenso déficit de energia, o que levou o surgimento dos dois principais modelos: o modelo chinês (Figura 1), mais simples e econômico, e o modelo indiano (Figura 2), mais sofisticado e técnico, para aproveitar melhor a produção de biogás (GASPAR, 2003).

Figura 1 – Biodigestor modelo chinês.



Fonte: Autor (2017).

Figura 2 – Biodigestor modelo indiano.



Fonte: Autor (2017).

Embora, ambos os modelos possuam o mesmo princípio de funcionamento, o modelo indiano (Figura 2) apresenta algumas vantagens em relação ao chinês,uma vez que sua estrutura é feita totalmente de alvenaria, o que permite que suas medidas sejam alteradas sempre que necessárias, contribuido dessa forma para um maior aproveitamento na produção de biogás e biofertilizante.

Estudos para aperfeiçoamento e otimização do processo de biodigestão através do monitoramento dos principais parâmetros (temperatura, pH e pressão) são bastante limitados pelo fato de os biodigestores estarem localizados em áreas rurais. Partindo dessa problemática, estudos voltados para os desenvolvimentos de protótipos de biodigestores em nível de bancada laboratorial e um sistema com material de baixo custo e fácil aquisição no mercado local, que permita o estudo das principais variáveis existentes durante o processo é visto como justificativa para aperfeiçoamento e consolidação dessa tecnologia.

1.1 Justificativa

É em meio à necessidade cada vez maior de energia e à preocupação com as questões ambientais com foco central para aquecimento global, que as tecnologias capazes de contribuir significativamente para a solução desses dois segmentos, recebem uma atenção especial. Os resíduos orgânicos gerados pelo mundo têm uma parcela bastante considerável quando o assunto está relacionado com o aquecimento da Terra, uma vez que contribui para o aumento da concentração de CO_2 na atmosfera. Dentre esses resíduos se encontram os produzidos mediante as atividades agropecuárias, os quais quando descartados de forma incorreta geram problemas ambientais gravíssimos. É partindo dessa premissa que a

biodigestão anaeróbia dos dejetos é uma tecnologia eficiente no aproveitamento de resíduos agropecuários que contribui no saneamento ambiental, produção de adubo (biofertilizante) para segurança alimentar e geração do biogás, usado como fonte energética. Com isso, aumenta a produção agrícola, permite a integração das atividades agropecuárias e a transformação dos produtos, agregando valor, organizando a produção, beneficiando a conservação dos produtos e melhorando a qualidade de vida no campo (OLIVER et al., 2008).

1.2 Produção científica

Em termos de produção científica, durante a realização deste trabalho, foram publicados os artigos listados a seguir:

1. TEIXEIRA, P. F. S.; **MOURA, L. F.**; LIMA, S. W. S.; ALBIERO, D.; GONDIM, F. A.; ALEXANDRIA, A. R.; (2017) Development of a Low-Cost Data Acquisition System for Biodigester. *Journal of Sustainable Bioenergy Systems*, 7, 117-137. doi: 10.4236/jsbs.2017.73009.

2. **MOURA, L. F.**; TEIXEIRA, P. F. S.; GONDIM, F. A.; NUNES JUNIOR, F. H.; BARBOSA, R. M; ARRUDA, J. F.; ALBIERO, D.; ALEXANDRIA, A. R. (2017). Viability of Biofertilizer Produced by an Indian Biodigester Prototype Applied to Sunflower Plants. *Journal of Agricultural Science*, 9, 253. doi: 10.5539/jas.v9n10p253

3. **MOURA, L. F.**; NUNES JUNIOR, F. H.; BARBOSA, R. M; Brito, P. O. B. de.; GONDIM, F. A.; ALEXANDRIA, A. R. Viabilidade do uso do biofertilizante bovino como fonte de nutrientes no crescimento inicial de plantas de girassol produzido através de um protótipo de biodigestor modelo Indiano. Em processo de redação final. 2017.

1.3 Objetivo geral

Estudar o processo de digestão anaeróbia de resíduos bovinos e suínos, através do monitoramento por um sistema de aquisição dados construído com material de baixo custo e uso do biofertilizante produzido como fonte nutricional no cultivo de plantas de girassol.

1.3.1 Objetivos específicos

Os objetivos especificos são:

- Desenvolver um sistema de aquisição de dados de baixo custo visando o monitoramento do processo de biodigestão;

- Estudar o processo de digestão anaeróbia dos dejetos bovinos e suínos em reator em modo batelada (sem abastecimento contínuo);
- Avaliar a viabilidade do biofertilizante produzido no crescimento de plantas de girassol, através de parâmetros biométricos (número de folhas, altura, diâmetro do coleto, área foliar) e produção de matérias fresca e seca.

1.4 Organização deste trabalho

No Capítulo 2 foi realizada uma revisão bibliográfica sobre biodigestores e sistemas de aquisição, nos aspectos históricos e principais modelos, bem como suas aplicações e rendimento. No mesmo capítulo foi discutido sobre a cultura do girassol. No Capítulo 3, está descrita a metodologia adotada durante a realização desse trabalho, assim como os materiais e métodos utilizados. Os resultados obtidos e as discussões sobre estes, estão expostos no Capítulo 4, e por fim, no Capitulo 5, a conclusão.

2 Fundamentos Teóricos

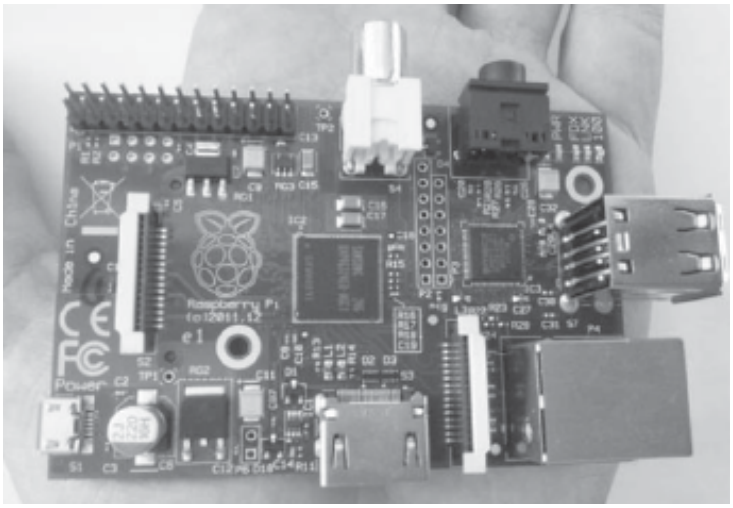
Neste capítulo é apresentada a base teórica para o desenvolvimento deste trabalho. São estudados os componentes que integram o sistema de aquisição de dados e suas aplicações, bem como o estudo da biodigestão anaeróbia, expondo os principais métodos propostos na literatura que foram estudados para o desenvolvimento do trabalho.

2.1 Sistema de aquisição de dados

2.1.1 Raspberry Pi

O *Raspberry Pi*, representado na Figura 3 é um computador de pequeno porte desenvolvido pela *Raspberry Pi Foundation*, uma organização filantrópica britânica, com o intuito de estimular o estudo da ciência da computação. Os componentes do computador foram selecionados de modo a aperfeiçoar o custo. Trata-se de um instrumento bastante simples, porém capaz de realizar várias tarefas específicas (PAIVA; MOREIRA, 2014).

Figura 3 – *Raspberry Pi* 1 *model B*.



Fonte: Paiva e Moreira (2014).

A grande vantagem do *Raspberry Pi* (RPI) é que não há uma única maneira de usá-lo. O usuário define e tem a disponibilidade de executar diversas funções desde apenas assistir vídeos e navegar na *Internet* ou então utilizá-lo para controlar um sistema de automação residencial. Esta plataforma de *hardware* é extremamente flexível por natureza, possibilitando uma infinidade de aplicações (RICHARDSON; WALLACE, 2012).

Lançado em 2011, este pequeno computador se firmou como uma ótima alternativa de baixo custo para sistemas baseados em Linux. Desde seu lançamento mais de 2 milhões

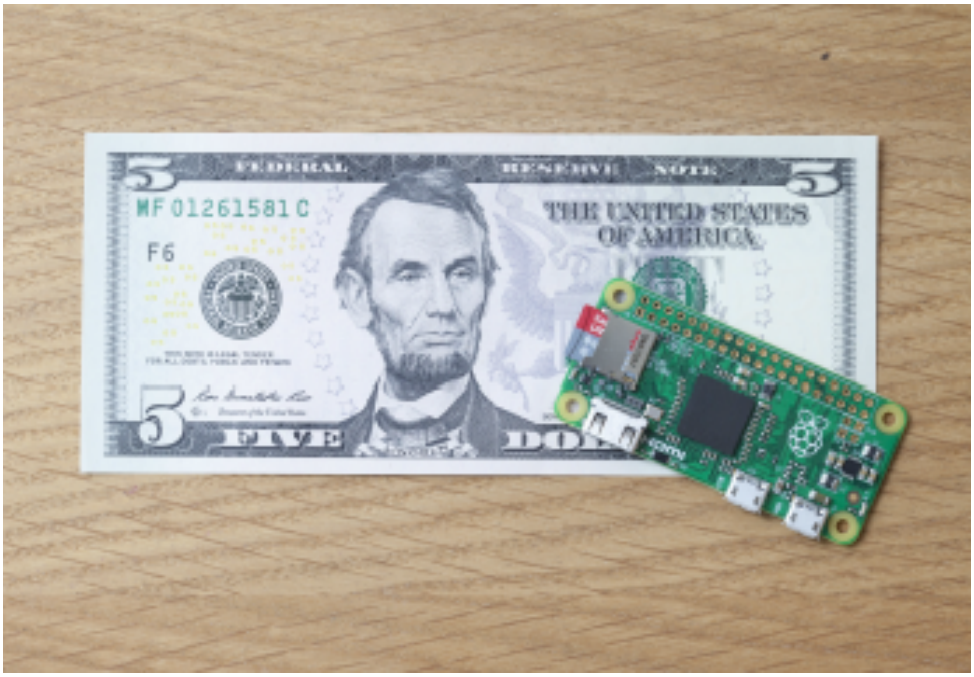
de dispositivos já foram vendidos e estes têm sido trabalhados em diversos âmbitos, tanto os educacionais quantos os profissionais (MONK, 2014).

O RPI normalmente não faz uso de disco rígido, tendo como memória secundária um cartão SD com capacidade superior ou igual a 8 GB. Nesse cartão ficam armazenados o sistema operacional bem como os arquivos do usuário, isso se torna possível devido à utilização de uma placa NIC (*network interface card*) que serve de suporte e conexão a *internet* ou a uma rede local. Possuem duas saídas de vídeo, uma de alta definição com saída HDMI (*high-definition multimedia interface*) e outra saída de vídeo RCA (*radio corporation of america*). Ainda possui duas entradas USB (*universal serial bus*) e uma saída de áudio. Dispõe de oito pinos programáveis de GPIO (*general purpose input/output*), que podem ser, por exemplo, ligados a sensores, motores ou relés (interruptores controlados por eletricidade) para controle de outros equipamentos (MONK, 2014).

Por se tratar de uma plataforma para o processo ensino-aprendizagem de *hardware* e programação, o custo de um RPI é de aproximadamente 35 Dólares, facilitando a sua aquisição e possíveis implementações.

Mesmo sendo de tamanaho reduzido (Figura 4), aproximadamente do tamanho de um cartão de crédito, com um preço acessível, esses dispositivos podem executar muitas funções por conta de seu *hardware* versátil.

Figura 4 – Raspberry Pi ZERO model A+.



Fonte: Paiva e Moreira (2014)

2.1.2 *Hardware*

A *Raspberry Pi Foundation* fornece suporte atualmente a 4 modelos específicos que se diferenciam no *hardware*: *Raspiberry Pi* ZERO, *Raspiberry Pi* 1 *Model* A/B, *Raspiberry Pi* 2 *Model* B e *Raspiberry Pi* 3 *Model* B. Essas diferenças de *hardware* influenciam em seu desempenho de funcionamento (WALLACE; RICHARDSON, 2016).

Tabela 4 – Características de *hardware* do RPI ZERO *model* A+.

Dispositivo	**Característica**
CPU	1GHZ, Single-core CPU
Memória(SDRAM)	512 MB
Saída de vídeo	Mini HDMI e portas USB $On-The-Go$
Saída de áudio	Conector de 3,5 mm, HDMI
Armazenamento *Onboard*	SD / MMC / slot para cartão SDIO
Fonte de Alimentação	5 Volts via MicroUSB

Fonte: Adaptado de Monk e Zanolli (2013).

Como visto na Tabela 4, as características do RPI ZERO são significativas levando-se em consideração que possui a metade do tamanho do RPI 1 *Model* A+ e quase que o dobro de sua capacidade de processamento, quando comparado o seu tamanho com uma nota de 5 dólares (Figura 4).

O *Raspiberry Pi* 2 *Model* B, é a segunda geração do *Raspiberry PI*. Este subustituiu o *Raspiberry Pi* 1 *Model* B em fevereiro de 2015. Em comparação com o *Raspiberry Pi* 1 este tem CPU de 900 MHz quad-core ARM Cortex-A7 e 1GB RAM. O *Raspberry Pi* 3 é a terceira geração *Raspberry Pi* . Este substituiu o *Raspberry Pi* 2 Modelo B , em fevereiro de 2016. Este modelo, por ser mais robusto e eficiente em relação a processamento e memória, é indicado para uso em escolas ou usos em geral. Para aplicações que utilizem baixo consumo de energia e menor processamento outros modelos como o ZERO é mais indicado. Em comparação com o *Raspberry Pi* 2 possui (MONK, 2014):

- CPU de 1,2 GHz 64-*bit quad-core* ARMv8;
- 802.11n *Wireless* LAN;
- *Bluetooth* 4.1;
- *Bluetooth Low Energy* (BLE).

Diante disso é possível fazer um comparativo entre o *model* A e B conforme mostrado na Tabela 5, bem como os dispositivos em comum entre os modelos (Tabela 6).

Tabela 5 – Dispositivos de *hardware* do RPI 1 dos modelos A e B.

Dispositivo	**Modelo A**	**Modelo B**
Portas USB	1	2
Rede *Onboard*	Não	10/100 Ethernet(RJ-45)
Classificações de Potência (power ratings)	500 mA (2,5 W)	700 mA(3,5 W)

Fonte: adaptado de Monk (2014).

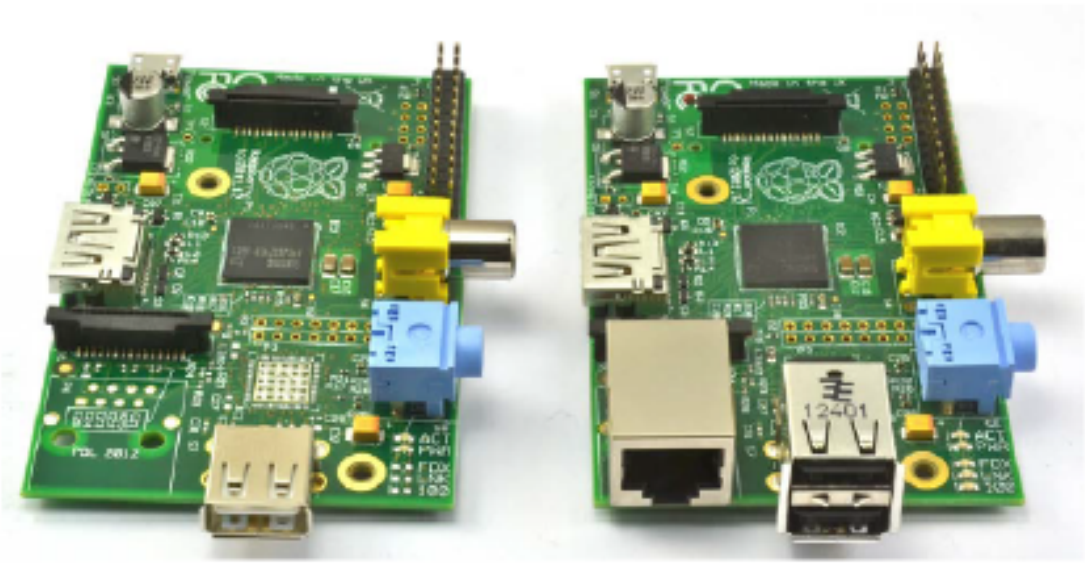
Tabela 6 – Dispositivos de *hardware* do RPI 1 em comum aos modelos A e B.

Dispositivo	**Modelo A/B**
Soc	*Broadcom* BCM2835 (CPU, GPU, DSP, e SDRAM)
CPU	700 MHz ARM1176JZF-S *core* (*family* ARM11) 7
GPU	*Broadcom VideoCore* IV,12 OpenGL ES 2.0, 1080p30
Memória(SDRAM)	512 MB (compartilhada com GPU)
Saída de vídeo	RCA, HDMI
Saída de áudio	Conector de 3,5 mm, HDMI
Armazenamento Onboard	SD / MMC / *slot* para cartão SDIO
Periféricos de Baixo Nível	GPIO(8), UART, I2C, SPI
Fonte de Alimentação	5 Volts via MicroUSB ou *header* GPIO
Tamanho	85,60 mm por 53,98 mm

Fonte: adaptado de Monk (2014).

Observa-se com a Figura 5 a imagem dos modelos de RPI A e B. Nota-se que a placa utilizada é a mesma com diferenças resumidas ao conector RJ-45 encontrado apenas no modelo b como de duas portas USB. A falta da interface de rede no modelo A não impede sua conexão com a mesma, já que na porta USB pode-se inserir um adaptador de rede sem fio e realizar o acesso ao RPI remotamente a partir de um protocolo de acesso remoto (MONK, 2014).

Figura 5 – *Raspberry Pi* modelo A e B.



Fonte: Paiva e Moreira (2014).

Além da necessidade de *hardware*, também é necessário um *software* para coletar, processar e enviar as informações para uma interface com o usuário. Kana, Schmidt e Kenfack (2013), desenvolveu um *software* com interface WEB para monitoramento online e sistemas de biodigestão, recebendo continuamente medidas de hidrogênio, metano e frações de dióxido de carbono, temperatura do substrato, entre outros parâmetros. As medidas foram efetuadas em intervalos de tempo de 1 minuto, 12 minutos e 24 horas. Esse sistema contava com a ação de atuadores (misturadores) acionados manualmente conforme os dados recebidos eram interpretados através de análise multivariada.

2.1.3 *Software*

O RPI a partir de sua arquitetura de *hardware* é capaz de se instalar e executar um sistema operacional. De acordo com Paiva e Moreira (2014) os sistemas operacionais suportados utilizam o núcleo Linux, em sua maioria gratuita e de código aberto.

Existem diversos sistemas operacionais para o RPI, com sistemas direcionados para fins específicos. Pode-se utilizar o RPI para várias finalidades e, dependendo desta, deve-se escolher o sistema adequado à aplicação. Estes sistemas utilizam núcleo Linux e a partir deste são criado distribuições diferenciadas (UPTON; HALFACREE, 2014).

Essas distribuições envolvem o mesmo sistema operacional básico, mas nestes são fornecidos de maneira diferenciada às suas aplicações, janelas, pacotes, etc. Existem várias distribuições Linux para RPI, porém a fundação *Raspberry Pi* recomenda o *Raspibian Wheezy* (MONK; ZANOLLI, 2013).

A Tabela 7 apresenta trabalhos recentes relacionados a alguns tipos de atividade de monitoramento ou simulação aplicada a biodigestores, com destaque para os indicadores de estado monitorados e as características do sistema desenvolvido (HW/SW/técnicas), bem como estão incluídos alguns comentários sobre os testes realizados e os resultados obtidos pelas pesquisas.

Tabela 7 – Trabalhos recentes de monitoramento de biodigestores.

Referências	**Sistema de monitoramento desenvolvido Indicadores, HW aplicado**
Gómez et al. (2010)	Sensores de temperatura, pressão e pH, sistema de aquecimento de água por resistência; Aquisição de dados via "Data Logger" marca "HOBO" referência U12-006 com 4 entradas, 4-20 mA, utilizados para a aquisição dos valores de temperatura com 0.02 mA ou + 2,5% de precisão e 0.03% de resolução.
Brambilla et al. (2012)	*Hardware* para coleta de amostra de biogás específica, valores de produção de metano, parâmetros do processo (temperatura da biomassa dentro do fermentador, quantidade de dejetos, pH e FOS/TAC).
Kumar e Venkateswarlu (2012)	Monitoramento da taxa de carga orgânica, taxa de carga hidráulica, concentração inicial do substrato e concentração de substrato fluido e massa obtida, a partir de dados experimentais de um reator anaeróbico de leito fixo, com reator de biofilme.
Kana, Schmidt e Kenfack (2013)	Monitoramento do Biohidrogênio, frações de gás biometano e dióxido de carbono, temperatura, oxigênio dissolvido (OD), pH, condutividade e volume de gases na fermentação para biogás.
Barnert, Piesik e Śliwiński (2014)	Monitoramento do estado geral do Biodigestor e capacidade de geração de energia.
López et al. (2014)	Monitoramento de processo de biodigestão por RSSF (medição da temperatura e umidade em tempo real em vários pontos do material). Ferramenta de gerenciamento de compostagem por monitoramento eficiente.

Fonte: Autor (2017).

2.2 Breve história dos biodigestores

2.2.1 Biodigestores no mundo

Muitos estudos e pesquisas comprovam os benefícios proporcionados pela tecnologia dos biodigestores, que não é uma tecnologia recente, mas que sempre teve grandes contribuições para a sociedade, bem como para o meio ambiente. O sistema é uma alternativa que

oferece tratamento de dejetos animais atrelado à produção de energia renovável (Biogás) e biofertilizante. Embora hoje, seja visto com uma alternativa contra desabastecimento energético, o biogás teve suas primeiras evidências no século X antes de Cristo (A.C.), na cidade de Assíria, localizada na região da Mesopotâmia e no século XVI na região da Pérsia, em que o biogás era utilizado no aquecimento de água para banho (FULFORD, 2009).

Entretanto, coube a Baptista Van Helmont no século XVII (D.C.), afirmar que a produção de gases inflamáveis estavam envolvidos diretamente no processo de decomposição da matéria orgânica. Porém esse estudo em questão não estabeleceu uma relação entre a quantidade de matéria orgânica em decomposição e a quantidade de gases inflamáveis gerados nesse processo, o que só foi possível em 1776, com o cientista Count Alessandro Volta, o qual descobriu a existência de uma correlação direta entre essas quantidades em estudos realizados com vegetais em ambiente confinado (NOGUEIRA, 1986). Embora na época tenha sido um grande passo para o entendimento desse processo, esse estudo centralizou-se apenas nos estudos dos vegetais.

Segundo Evans e Furlong (2011), pesquisas realizadas no ano de 1930 por A. M. Busswell e outros cientistas da Universidade de Illinois, nos Estados Unidos da América (EUA), marcaram o início do desenvolvimento da microbiologia relacionada ao processo de digestão anaeróbia, em que foram identificadas as bactérias envolvidas no processo e as condições mais favoráveis à produção do gás metano.

Gaspar (2003) relata que na cidade de Kanpur, na Índia, o Instituto Indiano de Pesquisa Agrícola desenvolveu seu primeiro modelo de biodigestor para digestão de esterco bovino em 1939. Em função dos promissores resultados obtidos, em 1950 foi fundado o Gobar Gas Institute (Instituto do Gás de Esterco), que contribuiu para a disseminação da tecnologia de digestão anaeróbia na Índia, promovendo a construção de quase meio milhão de unidades na região de Ajitmal e lançamento do Programa Nacional de Desenvolvimento do Biogás. O programa objetivou fomentar a implantação de unidades familiares de biometanização para reduzir o consumo de lenha e fornecer uma fonte de energia limpa e sustentável para cultivo de alimentos (BHAT; CHANAKYA; RAVINDRANATH, 2001).

Entretanto, devido ao baixo nível de conhecimento da tecnologia de construção e operação dos biodigestores, houve a desativação de algumas unidades, o que levou o governo iniciar um programa de treinamento para construção e uso de biodigestores, em 1933. Apesar do fracasso inicial, o país no ano de 2007 contava, com cerca de 26,5 milhões de biodigestores instalados, cujas unidades produziam em média 10,5 bilhões de m^3 de biogás (CHEN et al., 2010). De acordo com Nes (2006), isso representa 10% do total de propriedades rurais.

Ainda de acordo com Chen et al. (2010), o primeiro biodigestor construído em escala-piloto na China, foi em 1880, na província de Guangdong, no entanto, a primeira

instalação voltada para promover a produção e utilização do biogás, ocorreu apenas em 1920, por Gourui Lou. A partir disso, iniciou-se em 1933, um programa de treinamento para construção e uso de biodigestores, levando à criação de diversos institutos chineses de pesquisa em biogás. Segundo Gaspar (2003), de 1958 a 1972 a China já dispunha de mais de 7,2 milhões de biodigestores construídos na região do Rio Amarelo.

Diante dos resultados obtidos, ocorreu em 1921, o início da industrialização do biogás na China por Gourui Lou, que construiu um biodigestor em sua própria casa, com capacidade de produção de 8 m^3 de biogás, tendo como finalidade a geração de iluminação. Levando posteriormente á fundação da empresa Zhonghua Guorui Gas Lamp Company, responsável pela comercialização e instalação dessa nova tecnologia (HE, 2010).

De acordo com Li e Ho (2006), a rápida expansão dessa tecnologia na China, levou as primeiras publicações de trabalhos de pesquisas sobre biogás. Sendo primeiro artigo publicado em 1935, intitulada Chinese Guorui Biogas Digester Practical Lecture Notes (ICGBDPLN).

2.2.2 Biodigestores no Brasil

Dono de um dos maiores rebanhos bovinos do mundo, o Brasil só despertou para os biodigestores, com vistas à produção de biogás, após a eclosão dos primeiros "choques do petróleo". Assustados com as sucessivas altas de preço do petróleo, que desequilibravam vigorosamente a balança de pagamentos, os governos militares da segunda metade dos anos 70 passaram a investir na busca das então chamadas "energias alternativas". Foi assim que nasceram o Proálcool e inúmeros planos de aproveitamento da energia solar, desenvolvidos na época por centros de pesquisas de importantes universidades brasileiras (BARREIRA, 2011).

Andrade et al. (2002) comentam que, nas décadas de 70 e 80, o Governo brasileiro, por meio dos Ministérios da Agricultura e de Minas e Energia, promoveu a construção de biodigestores dos modelos chinês ou indiano, para uso rural, em diversas fazendas do Brasil. Até o ano de 1988, havia sido implantadas cerca de 8.000 unidades. Segundo Kunz, Perdomo e Oliveira (2004), o objetivo do programa era a redução na dependência de pequenas comunidades rurais na aquisição de adubos químicos e energia térmica, bem como a redução na poluição gerada pelo manejo inadequado dos resíduos agrícolas. Entretanto, devido ao baixo nível de conhecimento da tecnologia de construção e operação de digestores, aos custos de manutenção e às dificuldades na utilização do biofertilizante, o programa veio a fracassar e a grande maioria dos digestores foi desativada. Tais insucessos acarretaram no descrédito da tecnologia de biometanização por parte dos produtores rurais brasileiros.

No estado da Paraíba, na década de 80, a Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural (EMATER) conseguiu, através de convênio com o Ministério de Minas

e Energia, implantar cerca de 200 biodigestores em propriedades rurais daquele estado. Destes biodigestores implantados, apenas 4,6% estão em funcionamento (OLIVER et al., 2008).

Na região Nordeste do Brasil, aonde as condições climáticas para produção do biogás são as mais favoráveis, não há políticas nem programas de incentivo para este tipo de atividade. Contudo, os experimentos recentes realizados por instituições de pesquisa merecem destaque no fenômeno destas ações afirmativas para a região Nordeste do Brasil. O primeiro experimento pioneiro financiado pelo Banco Nordeste foi realizado na Fazenda Experimental do Vale do Curu (FEVC) na cidade de Pentecostes no estado do Ceará, onde foi mostrada a viabilidade da produção de biogás e biofertilizante a partir de dejetos da caprinocultura. O segundo aconteceu no estado da Bahia, realizado pela Universidade Estadual da Bahia (UEB), com o objetivo de avaliar a eficiência da produção de biogás a partir de desejos de caprinos e o aproveitamento do gás na cocção, (QUADROS et al., 2007).

Além das experiências já mencionadas anteriormente, alguns experimentos isolados vem sendo realizados, como Silva (2009), que construiu um biodigestor modelo indiano no município de Iracema-CE para tratamento de dejetos bovinos e produção de biogás, substituindo o consumo de lenha, antes utilizada para cozimento dos alimentos.

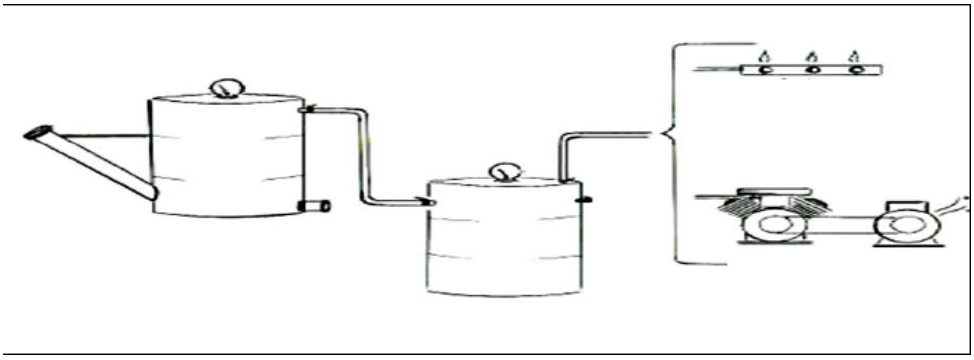
2.3 Modelos de biodigestores

Embora os modelos chinês e indiano sejam os mais requisitados atualmente, devido à sua capacidade na produção de biogás e biofertilizante, existem diversos outros modelos que podem contribuir para o avanço dessa tecnologia, dentres eles os modelos caseiro e canadense.

2.3.1 Modelo caseiro

Arruda et al. (2002) propuseram um tipo de biodigestor caseiro simples, para obtenção de biogás através da fermentação de esterco bovino em fluxo continuo chamado de biodigestor caseiro (Figura 6).

Figura 6 – Biodigestor caseiro.



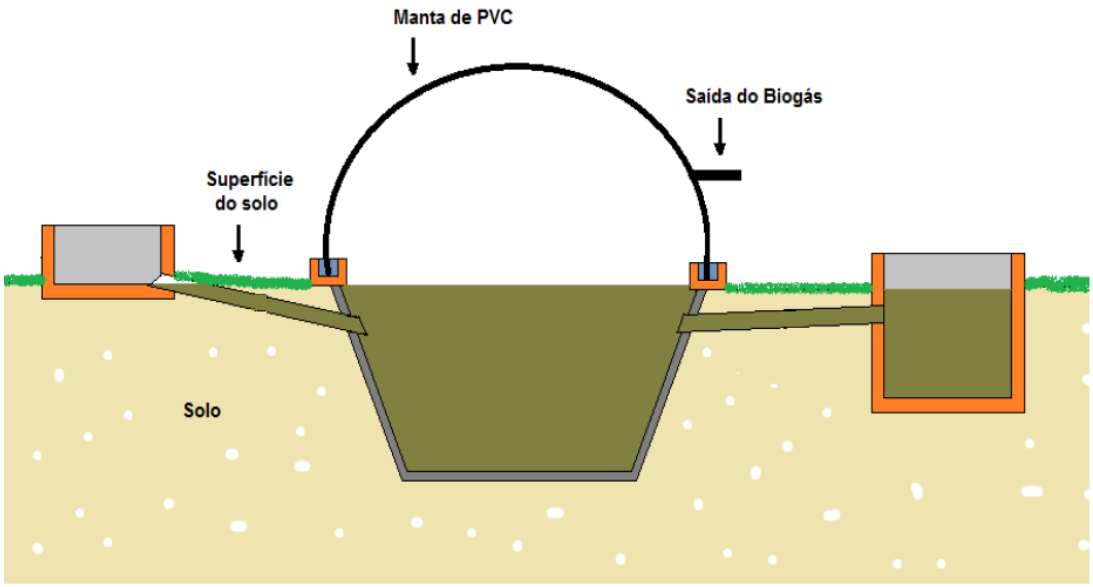
Fonte: Arruda et al. (2002).

A construção é feita a partir de um tambor metálico de 200 litros (0,2 m^3) e a condução do biogás na linha principal, usando-se tubo plástico rígido PVC colável (marrom-para água), com diâmetro 20 mm facilmente encontrado a preço reduzido, de fácil construção e montagem, garantindo o baixo custo final.

2.3.2 Modelo canadense

Já o modelo canadense, sua construção requer uma mão de obra maior, por ser construído com material maleável, geralmente lona de PVC, ele possui uma estrutura que pode ser abastecido com sua capacidade máxima de uma única vez, podendo ser repetido após a fermentação total do seu substrato no seu interior (SOUZA, 2010). O modelo de biodigestor canadense está representado pela Figura 7.

Figura 7 – Biodigestor modelo canadense.



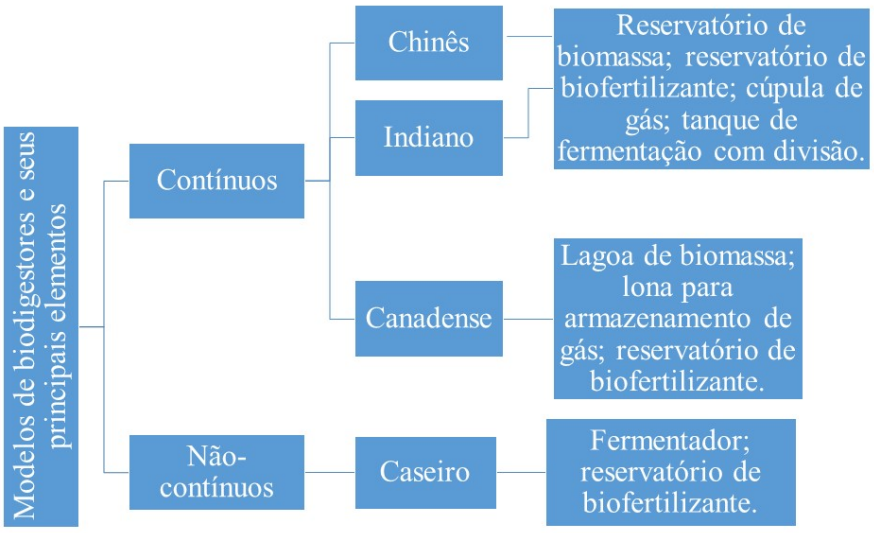
Fonte: Autor (2017).

Lindemeyer (2008, p. 40) descreve o modelo de biodigestor canadense como: sendo do tipo horizontal, com largura maior e uma profundidade menor do que o indiano, por isso a sua área de exposição solar é maior, o que acarreta em uma maior produção de biogás. A sua cúpula é de plástico maleável, tipo PVC, que infla conforme a produção de gás de maneira que o gás sai do biodigestor com pressão suficiente para ser utilizado.

2.3.3 Comparativo dos modelos de biodigestores

Um comparativo entre os diversos modelos existentes, demonstrando o fluxo de carregamento de biomassa e seus principais elementos é efetuado na Figura 8 abaixo.

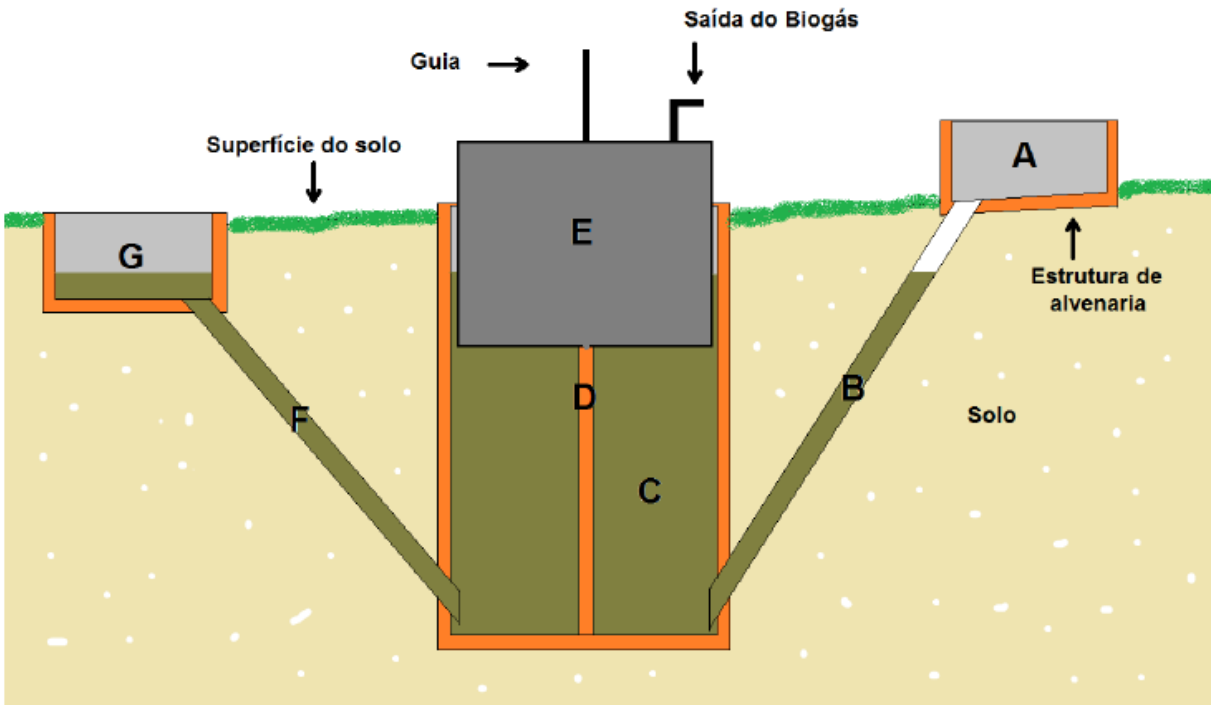
Figura 8 – Modelos de biodigestores e seus principais componentes.



Fonte: Autor (2017).

Já as partes que compõem um biodigestor estão descritas na (Figura 9).

Figura 9 – Divisões do biodigestor.



Fonte: Autor (2017).

A – Caixa de entrada: local onde é depositada a matéria a ser degradada (Biomassa);

B – Tubulação de carga: canal que transfere a biomassa para dentro do digestor;

C – Digestor: tanque fechado onde ocorre a degradação da matéria orgânica (fermentação);

D – Divisória: parede que divide a matéria fermentada da não fermentada dentro do digestor;

E – Gasômetro: câmara em que se acumula o biogás gerado pela digestão anaeróbia;

F – Tubulação de descarga: canal que transfere a biomassa fermentada para fora do digestor;

G – Caixa de saída: local onde é retirada a matéria degradada (biofertilizante).

2.4 A escolha do tipo de biodigestor

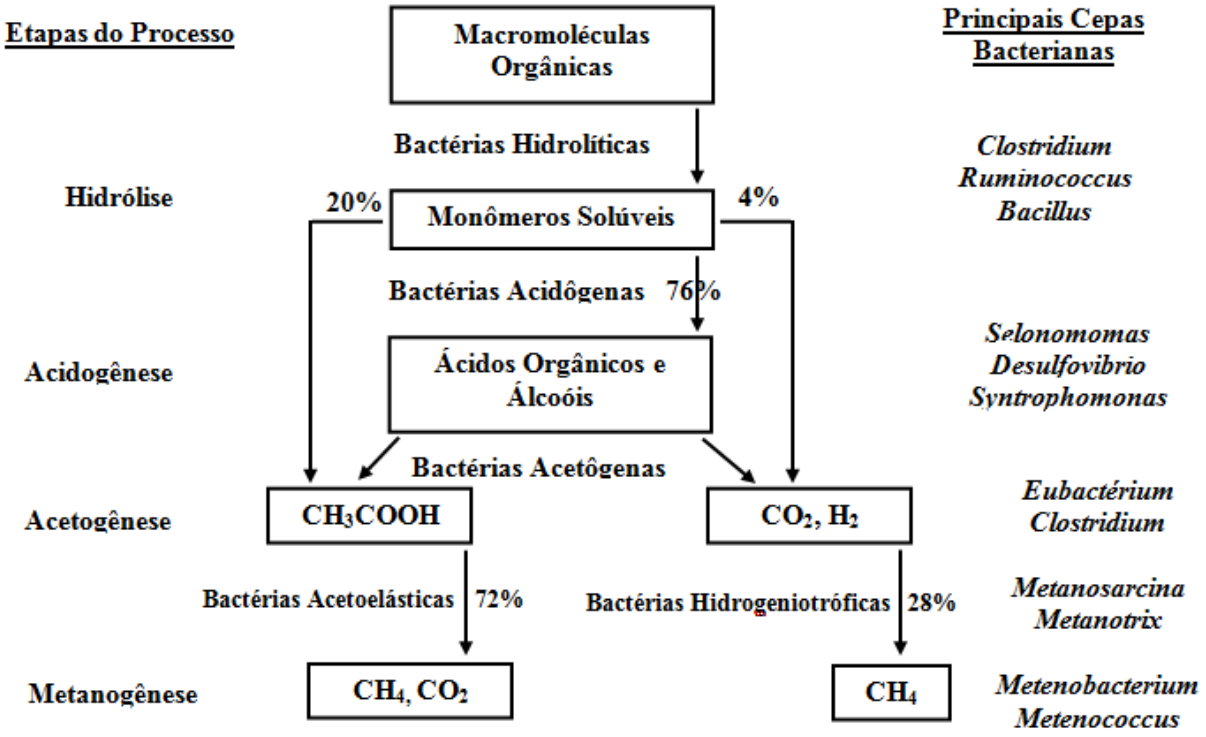
O tipo do biodigestor depende basicamente das condições locais, tipo de substrato, experiência do construtor e principalmente relação custo x benefício. Todavia, qualquer biodigestor construído, se for corretamente instalado e operado, produzirá biogás e biofertilizante. O biodigestor a batelada (sem abastecimento continuo) é indicado para

pequenas produções de biogás, pois é abastecida uma única vez, fermentando por um período, sendo o material descarregado posteriormente utilizado como biofertilizante. Esse tipo de biodigestor, por ser extremamente simples, sendo utilizado em sua construção materiais simples existentes na propriedade (DEGANUTTI et al., 2002).

2.5 Processo de biodigestão anaeróbia

Santi (2008) define a biodigestão anaeróbia como o processo bioquímico de degradação das substâncias orgânicas que acontece em ausência de oxigênio devido a vários grupos de microrganismos que se diferenciam pelos substratos utilizados e também pelos produtos do metabolismo, gerando ao final um subproduto com um alto valor agregado, sendo seu processo divido em quatro etapas: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese, como esquematicamente ilustrado na Figura 10.

Figura 10 – Esquema geral do processo de biodigestão anaeróbia.



Fonte: Cecchi et al. (2005).

2.5.1 Hidrólise

Nesta primeira etapa, devido à existência das três principais bactérias que são as bactérias proteolíticas que produzem a enzima protease responsáveis por degradar as proteínas e os peptídeos em amônia e aminoácidos, as bactérias lipolíticas que degradam os lipídeos saponificáveis a ácidos graxos de cadeia longa de carbono (C15 a C17) e glicerol, e as bactérias celulolíticas que produzem a enzima hidrolase degradando os polissacarídeos

a açúcares, todo o material orgânico é convertido em compostos dissolvidos de baixo peso molecular (JUANGA, 2005).

Juanga (2005) ressalta, ainda em seu trabalho que a velocidade com que o material é hidrolisado é diretamente relacionada à disponibilidade de superfície de contato entre as bactérias e o substrato. Sendo que quanto menor a dimensão das partículas de substrato, maior será a velocidade da hidrólise.

Desta forma a hidrólise é apontada por vários autores como sendo parte principal no processo anaeróbio (VEEKEN et al., 2000; MATA-ALVAREZ, 2003). Entretanto essa etapa pode sofrer com alguns fatores que afetam o processo, entre estes a questão da inibição. Mata-Alvarez (2003) apontou que o acúmulo de aminoácidos e açúcares provoca um obstáculo à produção e à atividade das enzimas envolvidas na fase de hidrólise. Outra causa de inibição, pode ser o acúmulo de ácidos graxos voláteis não ionizados, responsável por sua vez de baixos níveis de pH (BAERE et al., 1987; BRUMMELER; KOSTER, 1990).

2.5.2 Acidogênese

Durante a segunda etapa do processo, todos os compostos produzidos anteriormente são convertidos em cetonas, alcoóis, dióxido de carbono (CO_2), hidrogênio molecular (H_2) e ácidos graxos voláteis de cadeia curta de carbono. Porém é importante ressaltar que o CO_2 e H_2 não são envolvidos na fase sucessiva (acetogênese), sendo diretamente utilizados pelas bactérias metanogênicas na última fase do processo anaeróbio. De acordo com Santi (2013), outro composto produzido nesta etapa é o ácido sulfídrico (H_2S), resultante do metabolismo das bactérias redutoras de sulfatos. A seguir são ilustradas duas reações que tipicamente acontecem na etapa de acidogênese, a fermentação da glicose e a oxidação do metano respectivamente (COSTA; FERLING; NOGUEIRA, 2001):

$$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2C_2H_5OH + 2CO_2 \tag{2.1}$$

$$Glicose \rightarrow Etanol + Gás\ Carbônico$$

$$3CH_4 + 6O_2 \rightarrow 3CO_2 + 6H_2O \tag{2.2}$$

$$Metano + Gás\ Oxigênio \rightarrow Gás\ Carbônico + Água$$

2.5.3 Acetogênese

Embora na etapa anterior (acidogênese) já existam traços da produção de ácido acético, a grande maioria dele é produzida durante essa etapa, isso devido o metabolismo

das bactérias ativas existentes, que a partir dos substratos produzidos anteriormente (principalmente ácido propiônico e butírico) as bactérias acetogênicas produzem ácido acético, ácido fórmico, CO_2 e H_2, o que permite uma divisão em dois grupos: as bactérias acetogênicas produtoras restritas de hidrogênio e as bactérias homoacetogênicas, anaeróbias estritas, que catalisam a formação de acetato a partir de H_2 e CO_2 segundo a seguinte reação (COSTA; FERLING; NOGUEIRA, 2001):

$$2CO_2 + 4H_2 \rightarrow CH_3COOH + 2H_2O \tag{2.3}$$

$$Gás\ Carbônico + Gás\ Hidrogênio \rightarrow Ácido\ Acético + Água$$

No entanto essas bactérias homoacetogênicas, são sintróficas, por envolver transferência entre espécies bacterianas de H_2 o que permite manter a pressão parcial de hidrogênio suficientemente baixa para que o metabolismo das bactérias aconteça sem interrupções. Porém nesse sentido, sua importância ainda não é totalmente clara, devido possuir concentrações inferiores a das bactérias metanogênicas hidrogenotróficas, o que nesse caso é sugerido um papel menor no fenômeno da sintrofia.

2.5.4 Metanogênese

A quarta etapa do processo é a responsável pela a produção do gás metano (CH_4), através das bactérias acetotróficas, a partir da redução do ácido acético, assim como a redução do CO_2 pelas as bactérias hidrogenotróficas (WOESE; MAGRUM; FOX, 1978), como mostrado nas equações:

$$CH_3COOH \rightarrow CH_4 + CO_2 \tag{2.4}$$

$$Ácido\ Acético \rightarrow Metano + Gás\ Carbônico$$

$$4H_2 + CO_2 \rightarrow CH_4 + 2H_2O \tag{2.5}$$

$$Gás\ Hidrogênio + Gás\ Carbônico \rightarrow Metano + Água$$

Sendo que a primeira reação é responsável pela produção de cerca de 70% do metano no processo de digestão anaeróbia, isso devido o grupo metil do ácido carboxílico se reduzir em metano (MC-CARTY; MOSEY, 1991). Já a segunda reação corresponde aos 30% restante da produção de metano, isso devido às bactérias conseguirem reduzir CO_2, utilizando o H_2 produzido pelas bactérias hidrolíticas e acidogênicas.

Diante do exposto conclui-se, portanto que, a digestão anaeróbia é um processo que envolve diferentes grupos de bactérias que se inter-relacionam e convivem em um ambiente onde o produto metabólico de um grupo é o substrato de outro. Entretanto neste ecossistema, é necessário um equilíbrio entre os grupos de bactérias para que o sucesso da digestão anaeróbia seja satisfatório com a respectiva produção de biogás e biofertilizante.

2.6 Parâmetros relevantes na biodigestão anaeróbia

Alguns fatores podem interferir no processo de digestão anaeróbia. Temperatura e pH do resíduos a serem degradados são alguns deles (LEITE et al., 2004).

2.6.1 Temperatura

A temperatura é vista como um dos fatores físicos mais importantes da biodigestão anaeróbia, pois está diretamente relacionada com o processo biológico. Como os microrganismos não possuem meios para controle da sua temperatura interna, estes ficam sob controle ambiental (CHERNICHARO, 2007).

É desejável que a temperatura do processo seja constante, pois, mudanças bruscas podem causar desequilíbrio nos microrganismos, principalmente nas bactérias formadoras de metano. Há diferentes intervalos de temperatura, dentre os quais se realiza a fermentação anaeróbia: a psicrofílica (menor que 30 ^{o}C), a mesofílica (que varia de 30 a 40 ^{o}C) e a termofílica (compreendida entre 50 a 60 ^{o}C). Entretanto, os microrganismos anaeróbios são mas ativos nas temperaturas mesofílica e termofílica (SREEKRISHNAN; KOHLI; RANA, 2004).

2.6.2 pH

Em relação ao pH, seu valor e sua estabilidade no reator são de extrema importância, pois uma taxa elevada de metanogênese só pode se desenvolver quando o pH se mantiver numa faixa estreita, apesar de conseguir formar metano com o pH variando de 6,0 a 8,0. Valores abaixo de 6,0 e acima de 8,0 devem ser evitados, pois podem inibir, completamente, as atividades das bactérias formadoras de metano (CHERNICHARO, 2007).

2.6.3 Teor de água

A quantidade de água utilizada deve estar em torno de 90% do peso do conteúdo total de biomassa. A diluição deve estar em torno de 1:1 a 1:2, ou seja, uma quantidade de água para a outra de substrato. Tanto o excesso quanto a falta da água são prejudiciais para o sistema, onde a falta pode provocar entupimento na tubulação e o excesso pode

atrapalhar o processo da hidrólise, pois é exigida uma elevada carga de biomassa para que a mesma se processe adequadamente (ARRUDA et al., 2002).

2.6.4 Concentração de nutrientes

Os principais nutrientes são os orgânicos, principalmente o carbono e o nitrogênio. Deve sempre existir uma razão carbono/nitrogênio (C/N) coerente conforme as normas de produção do biogás, onde a mesma deve ser mantida entre 20:1 e 30:1, ou seja, concentração 20 de carbono para 1 de nitrogênio, sendo que o excesso de nitrogênio pode levar inibição na produção de biogás, podendo ter como produto final compostos nitrogenados como a amônia (NH_3) (ARRUDA et al., 2002).

2.6.5 Tempo de retenção

O tempo de retenção pode variar de reação para reação. Normalmente leva de 30 a 45 dias, porém em algumas situações é possível à existência do biogás logo na primeira semana de retenção hidráulica, isso é claro, em proporções menores. Em sistemas de biodigestores contínuos é mais comum observar essa variação (ARRUDA et al., 2002).

2.7 Produtos gerados no processo de biodigestão

2.7.1 Biogás

O biogás é uma mistura gasosa de alto poder calorífico, originário dos processos de biodigestão e possui em sua composição basicamente metano que normalmente representa de 60 a 70% da mistura, e dióxido de carbono (CO_2) que representa de 30 a 40%, além de gases em menores quantidades, como o gás sulfídrico, dióxido de enxofre, entre outros (WANG et al., 2014). Sua produção ocorre através do processo de biodigestão da matéria orgânica e, portanto os reatores devem ser alimentados frequentemente com uma grande quantidade de materiais orgânicos como, esterco animal (bovinos, suínos, aves) restos de produtos agrícolas, cereais e silagem de milho (PALMA, 2012).

De acordo com a FAO (2009), citado por Dinuccio et al. (2010) a demanda de alimentos deverá aumentar muito no mundo nas próximas décadas, e assim sendo torna-se extremamente necessário utilizar-se destes resíduos do processo de produção agrícola para geração de energia, deixando de lado o uso de alimentos diretamente na geração de energia, como é o caso do milho e cana-de-açúcar para produção de etanol.

E é sobre isso que Gerbens-Leenes, Hoekstra e Meer (2009) se referem ao dizer que a mudança de energia fóssil para energia a partir de culturas alimentares podem levar ao aumento dos preços dos alimentos, bem como favorecer a biodiversidade agrícola, o solo, água, ar e demais recursos. É importante ressaltar que o uso de combustíveis fósseis

também não é interessante para o equilíbrio sustentável do planeta, e é neste momento que o biogás surge como alternativa de sustentabilidade para geração de energia menos poluente e renovável, além de favorecer de forma significativa a biodiversidade agrícola.

2.7.2 Biofertilizante

Segundo Wang et al. (2014), o biofertilizante é um coproduto obtido a partir da fermentação anaeróbia de resíduos da lavoura ou dejetos de animais na produção de biogás. Este produto, em geral, apresenta-se sob a forma líquida e tem uma composição bem complexa de nutrientes. Dentre estes destacam-se o nitrogênio e o fósforo, macronutrientes essenciais às plantas.

Se comparado com os fertilizantes químicos comerciais, o biofertilizante apresenta algumas vantagens: favorece o crescimento de microrganismos benéficos que propiciam mais saúde ao solo, tornando-o mais poroso, permitindo maior aeração em camadas mais profundas. Este fato é propício para o maior crescimento e desenvolvimento das plantas (IZUMI et al., 2010). Isso permite seu uso nas mais diversas culturas de plantas, entre elas o girassol em estudo.

De acordo com Maghanaki et al. (2013), o biofertilizante ideal não deve apresentar cheiro, não pode ser poluente ao solo e recursos hídricos e deve apresentar um pH muito próximo de 7,5 (levemente básico). Assim como o biogás, o biofertilizante é de fácil obtenção e uma vez implantado o biodigestor, torna-se um fertilizante mais barato se comparado aos fertilizantes químicos, vendidos comercialmente (formulação NPK).

Wang et al. (2014) ressaltam que dependendo da biomassa utilizada no processo de biodigestão, obtém-se diferente composição química no biofertilizante produzido, sendo nesse caso necessário a realização de uma análise laboratorial para quantificação de nitrogênio e fósforo antes da aplicação ao solo, pois a utilização de biofertilizante em concentrações desconhecidas e em quantidades excessivas pode trazer algumas desvantagens como, por exemplo, causar desequilíbrios químicos, físicos e biológicos, tornando o solo impróprio para o cultivo de certas espécies, da mesma maneira que os fertilizantes químicos.

2.8 Cultura do girassol

O girassol (*Helianthus annuus* L.) é uma planta oleaginosa, originária da América do Norte, pertencente à família das Asteraceae (SILVA et al., 2009). Nos últimos anos vem se destacando como umas das mais importantes culturas na economia brasileira e mundial, ocupando a quinta maior área de cultivo (TRAVASSOS et al., 2011). Isso se torna possível, em maior parte, devido às suas principais características agronômicas, que diferencia da maioria das culturas, como resistência à seca, ao frio e ao calor (DUTRA et al., 2012).

As plantas de girassol caracterizam-se morfologicamente por apresentarem valores de altura que variam de 0,5 a 4,0 m, caule robusto, ereto, herbáceo e normalmente piloso, com diâmetros que variam entre 15 e 90 mm. O número de folhas por planta varia entre 8 e 70 e o sistema radicular apresenta raiz principal pivotante cujo comprimento pode chegar até dois metros de profundidade. Sua inflorescência, denominada de capítulo, possui de 100 a 8000 flores bissexuadas com diâmetro variando de 6 a 50 cm (ACOSTA, 2009; CASTIGLIONI et al., 1994; CASTIGLIONI et al., 1997; LIRA et al., 2011). O fruto do girassol é um aquênio, que se trata de um fruto seco e indeiscente, formado pelo pericarpo ou casca e pela semente (CARRÃO-PANIZZI; MANDARINO, 1994).

No território brasileiro, por exemplo, o girassol se adapta bem a quase todos os tipos de clima e solo, podendo, em algumas regiões, ser cultivado em várias épocas do ano (PEREIRA et al., 2014). Atualmente no Brasil, a cultura do girassol vem crescendo expressivamente, principalmente depois da implantação no ano de 2005 do Programa Nacional de Uso e Produção de Biodiesel – PNPB – Lei nº 11.097. A lei estabelece a obrigatoriedade do uso parcial e crescente de biodiesel misturado ao diesel fóssil, o que tem impulsionado as discussões em torno do assunto e a busca por novas fontes de matéria-prima para a produção de biocombustíveis (OSAKI; BATALHA, 2011).

De acordo com Ferreira et al. (2011), o girassol está entre os componentes do programa do biodiesel brasileiro por ser uma planta produtora de óleo e silagem de excelente qualidade, sendo utilizada na alimentação humana e animal. Contudo, seu maior uso ocorre principalmente como fonte oleaginosa (DICKMANN et al., 2005). Porém, requer boa fertilidade do solo, para que sejam manifestadas suas características referentes à produtividade e matéria seca (LIRA et al., 2007).

Devido à rusticidade da cultura e da capacidade de se desenvolver em condições adversas sem manejo especializado Gentil, Serra e Castro (2012) apontam que o girassol têm sido bastante empregado nos estudos de viabilidade do uso de resíduos orgânicos como fonte de nutrientes para plantas (LOBO et al., 2013; STROJAKI et al., 2013; SILVA et al., 2013).

De maneira adicional, a utilização da espécie nos estudos de recuperação de áreas contaminadas por metais pesados também vem sendo realizado com seu posterior aproveitamento na indústria de biocombustíveis (ZEITOUNI; BERTON; ABREU, 2007; GABOS et al., 2011). De acordo com Ruttens et al. (2011), o emprego da biomassa de plantas energéticas cultivadas em solos contaminados por metais na produção de biodiesel vem se tornando viável, o que amplia ainda mais as possibilidades de uso da cultura do girassol, incluindo nisso a utilização do biofertilizante proveniente da agropecuária. Portanto estudos que visem divulgar e fortalecer o uso biofertilizante nessa cultura torna-se imprescindível para o desenvolvimento econômico, social e ambiental do nosso país, especialmente, nas regiões mais carentes do país.

3 Material e Métodos

O trabalho foi desenvolvido em três etapas: na primeira etapa foi realizada a construção dos protótipos de biodigestor, bem como o desenvolvimento do sistema de monitoramento de baixo custo. Na etapa seguinte foi realizada a instalação do sistema por completo e feitos os testes iniciais com o objetivo de verificar a eficiência do sistema no monitoramento dos parâmetros. E por fim a terceira etapa foi à realização do estudo da viabilidade de utilização do biofertilizante produzido no experimento como fonte nutricional no cultivo de plantas de girassol.

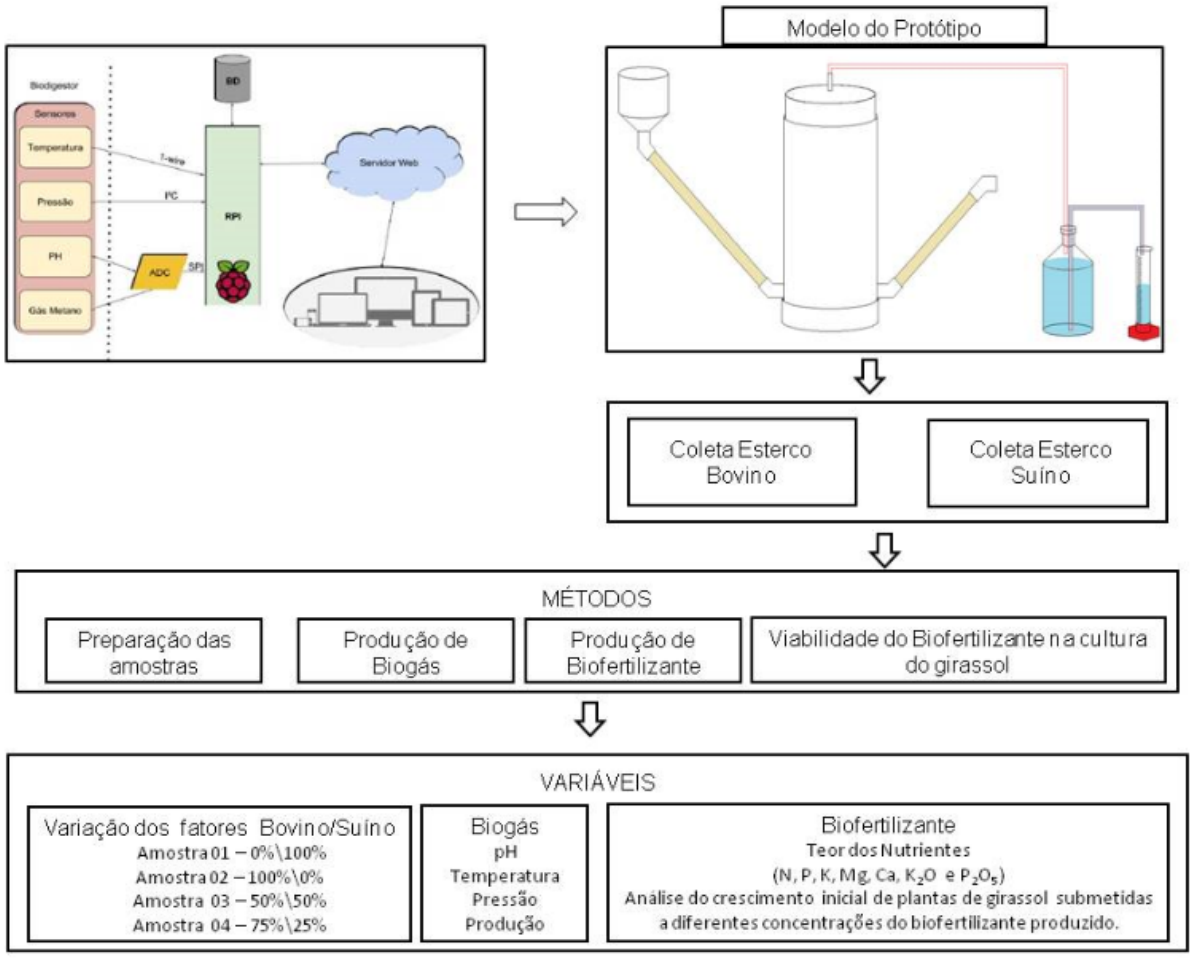
3.1 Localização e coletas das amostras para a produção do biofertilizante e coleta de dados do biodigestor

As coletas das amostras dos dejetos bovinos e suínos, bem como os experimentos, foram conduzidos na estufa telada na Estação Agrometeorológica, Centro de Ciências Agrárias (CCA), pertencente ao Departamento de Engenharia Agrícola (DENA), na Universidade Federal do Ceará - UFC – Campus do Pici, localizado em Fortaleza, Ceará, (3º 45' S; 38º 33' W e altitude de 19 m) Brasil, durante os meses de agosto e setembro de 2016. Os valores médios de temperatura e umidade relativa do ar durante todo experimento foram, respectivamente, 34 °C e 72%.

3.2 Delineamento experimental

A metodologia (Figura 11) adotada durante o trabalho, teve como metas o acompanhamento dos principais parâmetros da biodigestão anaeróbia (temperatura, pH e pressão) através do sistema de aquisição de dados de baixo custo, bem como aproveitamento nutricional do biofertilizante produzido dos substratos bovino e suíno no uso da cultura do girassol.

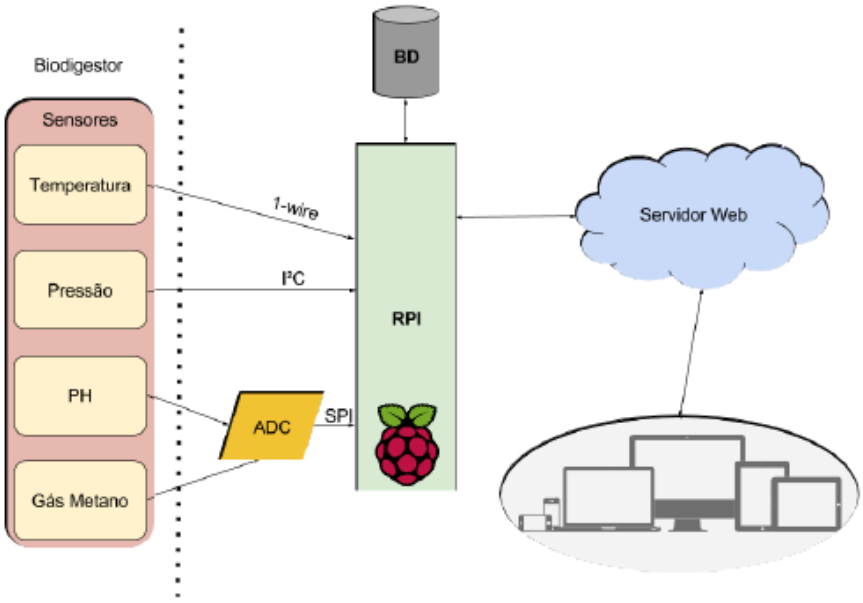
Figura 11 – Fluxograma da metodologia utilizada neste trabalho.



Fonte: Autor (2017).

É apresentado na Figura 12, de maneira simples, O ciclo de funcionamento do sistema de aquisição de dados e nos parágrafos seguintes, uma breve explicação de seus componentes.

Figura 12 – Diagrama esquemático do funcionamento do sistema de aquisição de dados.



Fonte: Autor (2017).

No Biodigestor monitorado estão dispostos, de acordo com a especificação de onde os dados devem ser lidos, sensores de: temperatura, pressão, pH e gás metano. As informações dos sensores são adquiridas pelo RPI seguindo suas formas particulares de comunicação que são explicadas no decorrer desse capítulo. Todo o processamento e controle desses dados lidos são de responsabilidades do RPI. Neste os dados são tratados, convertidos, filtrados e armazenados em um banco de dados local. No mesmo é executado um serviço de *Representational state transfer* (RESTful) que disponibiliza os dados armazenados no banco em formato JSON para utilização em um *Web Service*. A partir dessa *Web Service* foi criada uma aplicação *web* para os recebimentos desses dados e demonstração em tempo real das leituras dos sensores no sistema de aquisição do biodigestor. Ainda, podendo se gerar relatórios e gráficos de acordo com valores lidos anteriormente.

Desta forma houve um monitoramento em tempo real da aplicação com todos os dados que foram adquiridos ao longo do tempo, permitindo assim um melhor acompanhamento e gestão dos dados lidos.

3.2.1 Sensores

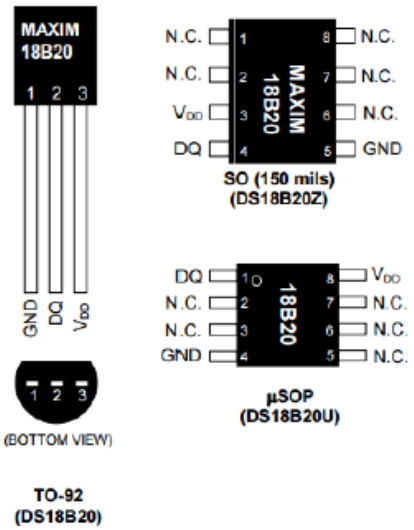
Este sistema de aquisição de dados faz uso, para sua aplicação, de uma série de sensores e suas formas de comunicação distintas com o controlador, no caso o RPI. Adiante esses sensores são descritos assim como sua comunicação é realizada.

3.2.1.1 Sensor de temperatura DS18B20

O sensor de temperatura digital DS18B20 da Maxim Integrated Products é um termômetro que possui uma resolução para suas medidas entre 9 e 12 *bits*. Ele se comunica em um barramento 1-*wire* que por definição necessita apenas de uma linha de comunicação (e terra) para envio dos dados para um controlador. Cada sensor possui um número de série de 64 *bits* gravado, o que permite a utilização de múltiplos sensores em um mesmo barramento de dados. Possui um *range* de operação de -55 °C a +125 °C e sua precisão é de $\pm$ 0,5 °C na escala entre 10 °C a 85 °C (RESOLUTION, 2015).

Este sensor faz a conversão da temperatura direta para digital com até 12 *bits* de resolução. Isso permite que a temperatura lida receba incrementos ou decrementos de até 0,0625 °C em intervalos de até 750 ms. A tensão de entrada desse sensor pode ser entre 3 e 5,5 V diretamente nos terminais de alimentação elétrica, VDD e GND. Porém ele pode ser configurado como parasita na rede. Essa é uma configuração disponível a partir do seu protocolo de comunicação *1-wire* que permite utilizar a via de comunicação, o DQ, também como fonte de alimentação, necessitando apenas de 2 fios para se comunicar com o RPI. Na Figura 13 é demonstrada a configuração dos pinos do sensor em dois tipos de enapsulamento, note que independente do seu tipo, os pinos utilizados são 3, O VDD, GND e DQ. A tensão de entrada desse sensor pode ser entre 3 e 5,5 V diretamente nos terminais de alimentação elétrica, VDD e GND (RESOLUTION, 2015).

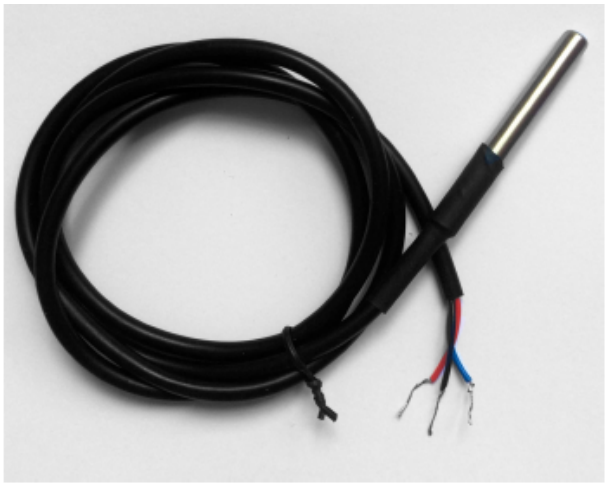
Figura 13 – Configuração dos pinos dos DS18B20.



Fonte: Products (2008)

O sensor utilizado no projeto é uma versão encapsulada com saída em fios e impermeabilizada para uso em ambientes distantes e em condições molhadas conforme a Figura 14 abaixo.

Figura 14 – DS18B20 encapsulado e impermeável.



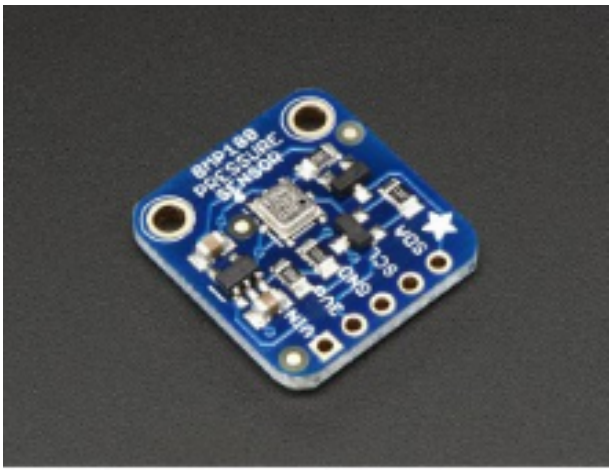
Fonte: Resolution (2015).

A escolha do mesmo ocorreu devido à alta faixa de temperatura que o sensor seria exposto (Temperaturas em torno de até 125 °C), por isso a necessidade do uso de um sensor com revestimento em PVC que suportasse determinada temperatura e sem a degradação do sinal digital com as informações do sensor.

3.2.1.2 Sensor digital de pressão BMP180

O BMP180 (Figura 15), é um sensor digital de pressão que veio suceder o BMP085 em uma nova geração de sensores com alta precisão digital. Este sensor produzido pela BOSCH foi otimizado para aplicações em sistemas móveis como PDA's e navegação com GPS. Utiliza o protocolo de comunicação I^2C para uma fácil integração com sistemas microcontrolados bem como computacionais. É baseado em tecnologia piezoresistiva que lhe propicia alta robustez, acurácia e grande tempo de uso (SENSORTEC, 2013).

Figura 15 – Sensor BMP180 utilizado no projeto.



Fonte: Sensortec (2013).

Este sensor faz leituras entre 950 e 1050 hpa trabalhando em uma temperatua de 25 °C que proporciona uma acurácia de 0,12 hpa.

3.2.1.3 Sensor de pH

Para a leitura dos valores de pH foi utilizado um kit de sensor do fornecedor *Atlas Scientific* composto por um sensor de pH (Figura 16a) e um circuito EZO^{TM} visto na Figura 16b. Este faz leituras de pH entre 0,001 a 14,000 com resolução de +/- 0,002 e se comunica diretamente com um microcontrolador ou sistema computacional via conexão serial assíncrona UART ou via I^2C. Opera com tensões de entrada entre 3,3 V a 5 V com um consumo médio de 0,995 mA em 3,3 V (LLC, 2015).

Figura 16 – Módulos do sensor utilizado.

(a) Sensor de pH. (b) Circuito controlador.

Fonte: Llc (2015)

O *Probe* é conectado diretamente ao circuito EZO, que disponibiliza por meio de protocolo próprio o valor que está sendo lido e o valor de pH é definido sem que haja a necessidade de manipular os dados lidos, uma vez que esse tipo de sensor é pré-calibrado.

3.2.1.4 Sensor de gás MQ-4

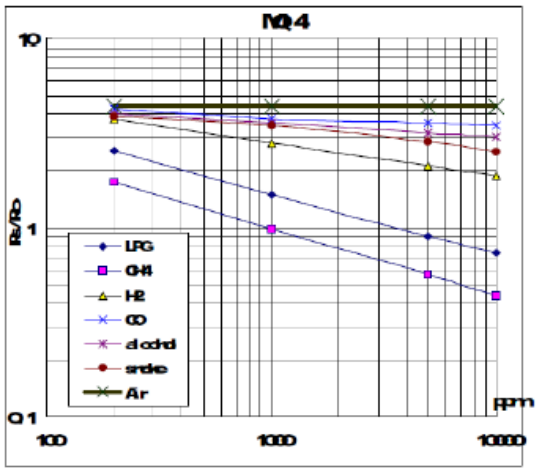
O sensor de gás MQ-4 (Figura 17) teve sua criação para uso na detecção de vazamentos de gases em equipamentos e na indústria. Sua maior adequação e sensibilidade são em detectar metano (CH_4) e gás natural (GLP). Esse sensor trabalha com tensões de 5 V e detecta concentrações entre 200 e 10000 ppm (partículas por milhão) (ELECTRONICS, 2002).

Figura 17 – Sensor de gás MQ-4.

Fonte: Electronics (2002).

No contexto da aplicação se faz necessária a leitura, apenas de gás metano em ppm para cálculo da sua concentração no biodigestor com intuito de acompanhar o processo e a quantidade da sua produção. A natureza analogica seguindo uma curva de sensibilidade é caracterizada na Figura 18.

Figura 18 – Sensibilidade característica do MQ-4.



Fonte: Electronics (2002).

3.2.1.5 Posicionamento dos sensores

O posicionamento dos sensores utilizados no monitoramento do processo de biodigestão anaeróbia é mostrado na Figura 19 abaixo.

Figura 19 – Foto ilustrativa do posicionamento dos sensores utilizados no experimento.

Fonte: Autor (2017).

Onde:

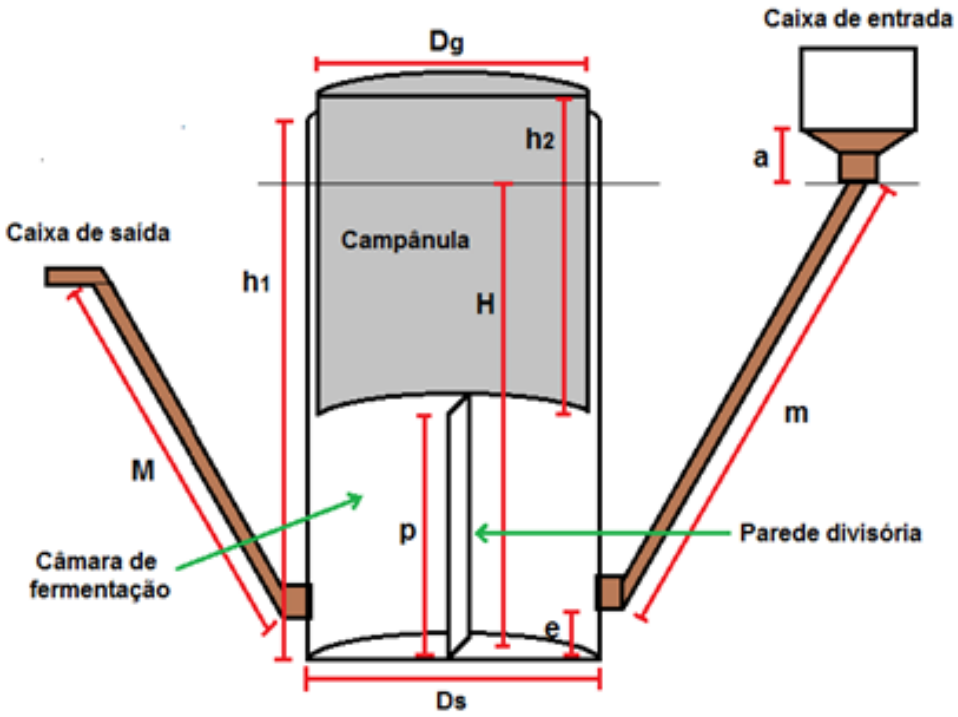
- 1 - Raspberry Pi (Controlador do Sistema);
- 2 - Sensor digital de pressão BMP180;
- 3 - Sensor de temperatura do Gasômetro;
- 4 - Sensor de temperatura da Câmara de Digestão;
- 5 - Sensor de pH.

O controlador do sistema localizado na posição 1 está conectado ao todos os outros sensores. Na posição 2 está disposto o sensor de pressão BMP180, em 3 e 4 os sensores de temperatura DS18B20 e 5 o sensor de pH.

3.2.2 Montagem do protótipo

O protótipo construído foi baseado no modelo desenvolvido por Barbosa et al. (2012), por esse tipo de modelo ter um melhor aproveitamento no tratamento de dejetos, bem como na produção de biogás e de biofertilizante, onde as medidas adotadas na construção do protótipo pode ser visualizado na Figura 20.

Figura 20 – Protótipo de biodigestor indiano proposto.



Fonte: Autor (2017).

Onde:

- H - altura do nível do substrato (biomassa) = 45 cm;
- Dg - diâmetro do gasômetro = 14 cm;
- Ds - diâmetro da câmara de digestão = 15 cm;
- h1 - altura ociosa (reservatório do biogás) = 47 cm;
- h2 - altura útil do gasômetro = 27 cm; a - altura da caixa de entrada = 2 cm; e - altura de entrada do cano com o afluente = 5 cm;
- M- comprimento do cano de entrada cujo diâmetro é de 32 mm = 46 cm;
- m- comprimento do cano de saída cujo diâmetro é de 32 mm = 42 cm;
- p- altura da parede divisória = 20 cm.

3.2.3 Materiais utilizados

Todos os materiais utilizados foram adquiridos no comércio local da cidade de Maracanaú no Estado do Ceará, os tubos, adaptações e conexões adquiridos são constituídos de PVC, marca Tigre, como mostra a Tabela 8.

Tabela 8 – Materiais utilizados para a construção do protótipo.

60 cm de tubo de 150 mm de diâmetro
20 cm de tubo de 100 mm de diâmetro
100 cm de tubo de 32 mm de diâmetro
2 adaptações de 100 mm/32 mm de diâmetro
4 curva com curvatura de 45 e diâmetro de 32 mm
1 tampão para o tubo de 150 mm de diâmetro
2 tampões para o tubo de 100mm de diâmetro
1 tubo de cola de tubo
1 serra de tubo
1 cola de silicone

Fonte: Autor (2017).

Para a construção do gasômetro do biodigestor, foi utilizada uma folha de zinco (27 cm x 14 cm), modelada em formato cilíndrico, e vedada feita com cola de marca *durepox*, conforme pode ser visto na Figura 21.

Figura 21 – Gasômetro do biodigestor.

Fonte: Autor (2017).

É importante ressaltar que todas as vedações, adaptações e fixações das conexões de entrada e saída foram realizadas com cola à base de PVC.

3.2.4 Carga do biodigestor

Os protótipos inicialmente foram preenchidos com água para verificar a ocorrência de vazamentos. Não os apresentando, foi realizada a coleta dos dejetos bovinos e suínos frescos na área experimental da Estação Agrometeorológica, no DENA. Para atingir a

capacidade máxima dos 4 reatores construídos, foram necessários 9 kg de desejos bovinos, 7 kg de suínos e 16 L de água.

Os dejetos antes de ir para dentro da câmara de digestão passaram por um processo de diluição com proporção de 1:1 (biomassa:água), sendo que os protótipos 1, 2, 3 e 4 foram abastecidos com resíduos *in natura*, nas proporções de bovino (100%), suíno (100%), bovino/suíno (50% - 50%) e bovino/suíno (75% - 25%) respectivamente e deixados em regime de batelada (sem abastecimento diário), e em seguida deixado numa estufa com a ambiente controlado com temperatura média de 34 °C, sem agitação.

3.2.5 Aplicação dos biofertilizantes produzidos na cultura do girassol

Nessa subseção serão apresentadas as condições experimentais adotadas durante a pesquisa, no estudo da viabilidade da aplicação do biofertilizante na cultura do girassol.

3.2.5.1 Condições experimentais, material vegetal e tratamentos

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, localizada na cidade de Maracanaú, no Estado do Ceará, Brasil, nos meses de novembro e dezembro de 2016. Os valores médios de temperatura e umidade relativa do ar na casa de vegetação foram, respectivamente, 26,6 °C e 65%. Os biofertilizantes proveniente da fermentação dos dejetos bovinos e suínos, foram coletadas no mês de outubro de 2016, na estufa telada na Estação Agrometeorológica, Centro de Ciências Agrárias (CCA), pertencente ao Departamento de Engenharia Agrícola (DENA), na Universidade Federal do Ceará - UFC – Campus do Pici, localizado em Fortaleza, Ceará, .

As sementes de girassol (*Helianthus annuus* L.), cultivar BRS 323, foram cedidas pela Embrapa, Produtos e Mercados – Escritório Dourados, MS, Brasil. Inicialmente, após seleção e desinfecção com hipoclorito de sódio a 0,7%, as sementes foram semeadas, em vasos de plástico de 5 L, preenchidos com areia de granulometria fina (NBR 6502).

Foram realizadas quatro aplicações dos biofertilizantes suínos e bovinos produzidos, no momento da semeadura e aos 7, 14 e 21 dias após semeadura (DAS). O biofertilizante aplicado resultou nos tratamentos contendo concentrações de N-total de 0 (ausência de aplicação), 40, 80 e 120 kg N ha^{-1}.

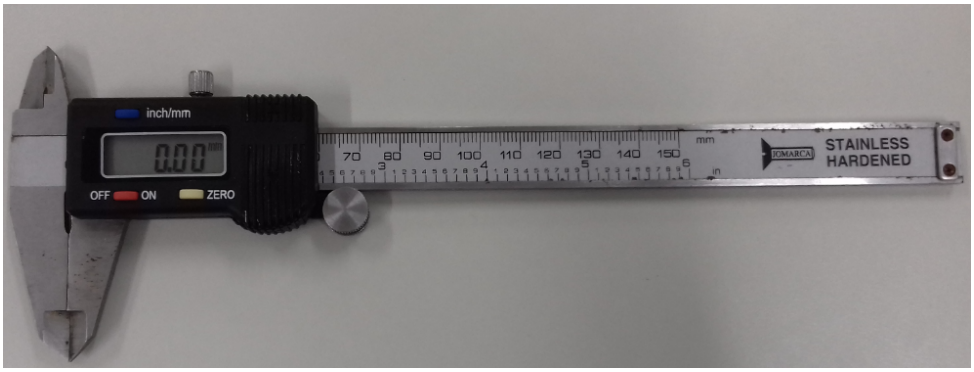
Os volumes de biofertiizantes aplicados em cada tratamento foram definidos com base no teor de nitrogênio total (N-total) das amostras (3,40 e 1,30 g/L), após análises físico-químicas realizadas no Laboratório de Solos/Água, UFC/ FUNCEME e aplicadas proporcionalmente nos vasos ao correspondente a um hectare nas condições de campo.

3.2.6 Coletas dos dados e do material vegetal

As coletas dos dados de número de folhas (NF), diâmetro do coleto (DC) e altura da parte aérea (APA) foram realizadas aos 14, 21, 25 e 29 DAS. Contudo, as coletas de materiais vegetais para as determinações de matéria fresca da parte aérea (MFPA) e matéria seca da parte aérea (MSPA) foram efetuadas aos 21, 25 e 29 DAS. Nas ocasiões, as plantas foram separadas em raízes (apenas em 29 DAS) e caules + pecíolos + folhas (parte aérea), para as determinações das matérias frescas das raízes (MFR), da parte aérea (MFPA) e total (MFPA + MFR) através de pesagem em balança analítica. Em seguida, o material vegetal foi deixado em estufa com circulação forçada de ar a 60 °C até obtenção de massa constante, para as determinações das matérias secas das raízes (MSR) e parte aérea (MSPA) em balança analítica.

Em cada coleta foram determinados os valores de diâmetro do coleto (DC), utilizando-se paquímetro digital (0,01 mm) (Figura 22) com medição realizada na inserção do eixo epicótilo-hipocótilo; altura da parte aérea (APA), com régua graduada em centímetros, aferindo-se da superfície do solo ao último nó e número de folhas (NF) por contagem manual.

Figura 22 – Paquímetro digital.



Fonte: Autor (2017).

Os teores relativos de clorofila foram medidos utilizando um medidor portátil – Minolta SPAD – 502 (Figura 23), Osaka, Japão (utilizando-se a primeira folha completamente expandida a contar do ápice).

Figura 23 – Medidor portátil dos teores relativos de clorofila – Minolta SPAD – 502.

Fonte: Autor (2017).

3.2.7 Delineamento experimental e análises estatísticas

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado disposto em dois arranjos fatoriais o primeiro com 4 concentrações de biofertilizante (0; 40; 80 e 120 kg N ha^{-1}) x 4 períodos de coleta (14; 21; 25 e 29 DAS), exceto nas análises de matéria fresca da parte aérea (MFPA) e matéria seca da parte aérea (MSPA) sendo esses parâmetros analisados somente nas ultimas três coletas. As análises foram realizadas com cinco repetições com duas plantas cada, totalizando 105 unidades experimentais. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e regressão polinomial utilizando-se o programa estatístico Sisvar 5.4 (FERREIRA, 2010).

Por motivos técnicos, as raízes só foram coletadas na última coleta (29 DAS), sendo então utilizadas para as determinações de matérias fresca e seca das raízes e total. Devido a isso, os dados de raízes foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo *software* Sigma Plot 11.0.

4 Resultados e Discussão

Neste Capítulo serão apresentados e discutidos os resultados obtidos durante toda a realização do trabalho. Será validado experimentalmente o sistema de aquisição de dados de baixo custo, bem como, a viabilidade do uso do biofertilizante produzido mediante o processo de digestão anaeróbia dos resíduos bovinos e suínos como fonte nutricional na cultura do girassol.

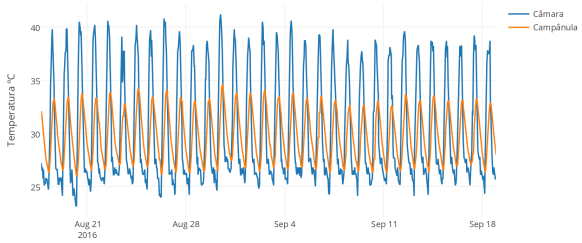
4.1 Sistema de aquisição de dados

A parte experimental, foi realizada durante um mês de aquisição, a fim de analisar o desempenho da biodigestão em um ambiente mesofílico de temperatura, sendo feito o registro das informações a cada hora, visando assim um melhor monitoramento do sistema.

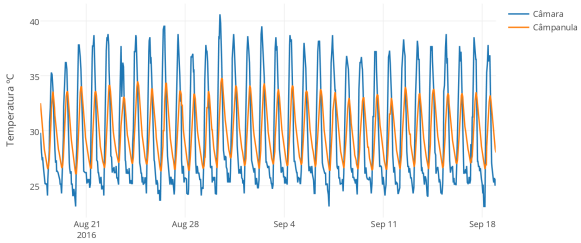
Mediante os dados de temperaturas coletados durante os experimentos com os quatros protótipos de biodigestores foram esboçados os gráficos (Figura 24) com valores dos sensores localizados na câmara de digestão e no gasômetro.

Figura 24 – Gráfico com os valores dos sensores de temperatura.

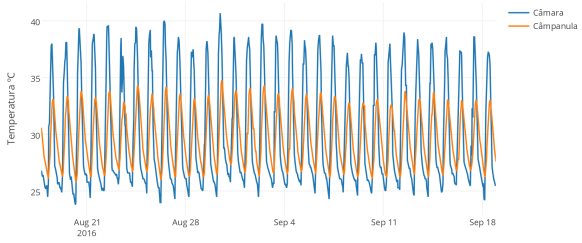
(a) Biodigestor 1 - 100% bovino



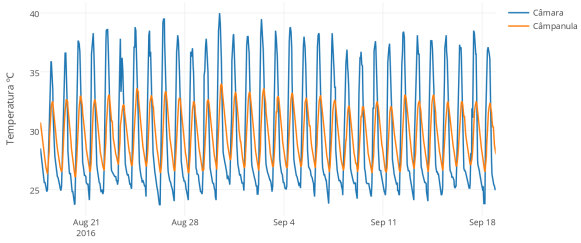
(b) Biodigestor 2 - 100% suíno



(c) Biodigestor 3 - 50%/50% bovino/suíno



(d) Biodigestor 4 - 75%/25% bovino/suíno



Fonte: Autor (2017).

Analisando de forma geral os gráficos, é perceptível que durante todo o experimento as temperaturas mantiveram-se dentro da faixa mesofílica (entre 25 e 45°C) de temperatura, atingindo crescimento de 100% das bactérias fermentativas, o que contribuiu de forma significativa na produção de biogás. De acordo com Bischofsberger et al. (2005), as bactérias fermentativas, atingem uma taxa de crescimento máximo de 100%, nas condições mesofílicas, entre 20 e 45°C, considerando 36,5°C a temperatura ideal.

Seguindo as especificações da *World Meteorological Organization* (WMO) da Organização das Nações Unidas (ONU), foram esboçadas tabelas com os valores coletados pelos os sensores de temperatura às 9h, 15h e 21h horário de Brasília, bem como a média diária, levando em conta os valores lidos nas três coletas.

Tabela 9 – Leituras do sensor de temperatura da câmara de digestão - Biodigestor 1.

	DIAS										
HORA	18/08	19/08	20/08	21/08	22/08	23/08	24/08	25/08	26/08	27/08	28/08
9	31,3	35,7	36,1	34,7	34,6	34,6	35,8	35,2	34,2	35,7	35,7
15	36,2	37,2	37,3	36,7	37,2	37,7	37,2	36,3	37,6	36,6	36,3
21	25,7	26,6	25,7	26,7	26,7	26,1	26,7	26,8	27,6	26,3	26,6
MÉDIA	31,1	33,2	33,0	32,7	32,8	32,8	33,2	32,8	33,1	32,9	32,9
DESVIO	3,92	4,61	4,69	4,60	4,63	4,63	4,63	4,55	4,57	4,56	4,57
HORA	29/08	30/08	31/08	01/09	02/09	03/09	04/09	05/09	06/09	07/09	08/09
9	35,1	39,1	38,6	37,3	38,2	38,8	38,8	37,2	37,1	38,2	36,3
15	36,7	33,7	33,2	32,1	33,0	33,2	33,1	32,2	32,7	33,0	32,3
21	26,1	26,2	27,8	26,1	26,1	26,7	26,7	26,1	27,2	26,1	26,5
MÉDIA	32,6	33,0	33,2	31,8	32,4	32,9	32,9	31,8	32,3	32,4	31,7
DESVIO	4,58	4,58	4,63	4,63	4,63	4,65	4,68	4,66	4,65	4,66	4,64
HORA	09/09	10/09	11/09	12/09	13/09	14/09	15/09	16/09	17/09	18/09	
9	36,1	37,2	37,3	37,3	37,8	38,7	37,8	36,6	37,3	37,8	
15	32,6	33,6	33,6	33,8	32,6	32,2	32,7	32,7	32,3	31,1	
21	26,5	26,2	27,6	26,3	27,2	26,2	27,6	26,7	27,6	26,1	
MÉDIA	31,7	32,3	32,8	32,5	32,5	32,4	32,7	32,0	32,4	31,7	
DESVIO	4,62	4,59	4,59	4,58	4,58	4,58	4,58	4,56	4,56	4,79	

Fonte: Autor, (2017).

Tabela 10 – Leituras do sensor de temperatura do gasômetro - Biodigestor 1.

	DIAS										
HORA	18/08	19/08	20/08	21/08	22/08	23/08	24/08	25/08	26/08	27/08	28/08
9	27,3	27,5	27,3	27,2	27,6	27,2	28,3	28,0	27,3	27,8	27,6
15	33,1	33,2	33,7	33,3	33,8	32,7	34,2	33,4	34,0	33,4	33,0
21	30,1	30,4	30,3	30,6	31,0	30,5	30,3	30,8	30,6	30,5	30,1
MÉDIA	30,2	30,4	30,4	30,4	30,8	30,1	30,9	30,7	30,6	30,6	30,2
DESVIO	3,92	4,61	4,69	4,60	4,63	4,63	4,63	4,55	4,57	4,56	4,57
HORA	29/08	30/08	31/08	01/09	02/09	03/09	04/09	05/09	06/09	07/09	08/09
9	27,5	29,8	30,0	29,8	29,5	29,3	29,6	29,7	29,6	29,5	29,0
15	33,0	34,5	33,7	33,6	33,9	33,5	33,7	33,1	33,4	33,1	32,6
21	30,0	30,3	30,5	29,7	29,6	29,8	29,6	29,8	29,6	29,6	29,5
MÉDIA	30,2	31,5	31,4	31,0	31,0	30,9	31,0	30,9	30,9	30,7	30,4
DESVIO	4,58	4,58	4,63	4,63	4,63	4,65	4,68	4,66	4,65	4,66	4,64
HORA	09/09	10/09	11/09	12/09	13/09	14/09	15/09	16/09	17/09	18/09	
9	29,3	27,6	29	29,8	29,7	30,0	29,2	29,5	28,1	29,5	
15	32,6	33,0	32,5	33,5	33,1	33,3	33,0	33,1	33,1	32,7	
21	29,1	29	29,5	29,1	29,8	29,3	29,6	29,6	29,6	29,6	
MÉDIA	30,3	29,9	30,3	30,8	30,9	30,9	30,6	30,7	30,3	30,6	
DESVIO	4,62	4,59	4,59	4,58	4,58	4,58	4,58	4,56	4,56	4,57	

Fonte: Autor, (2017).

Tabela 11 – Leituras do sensor de temperatura da câmara de digestão - Biodigestor 2.

	DIAS										
HORA	18/08	19/08	20/08	21/08	22/08	23/08	24/08	25/08	26/08	27/08	28/08
9	28,2	29,3	32,8	33,8	33,6	33,7	34,3	34,8	34,6	34,7	34,2
15	34,1	35,6	35,6	35,8	35,5	35,8	35,1	35,0	35,3	35,0	35,6
21	27,3	27,3	26,1	26,2	26,2	26,6	26,5	26,1	26,6	26,2	26,8
MÉDIA	29,9	30,7	31,5	31,9	31,8	32,0	32,0	32,0	32,2	32,0	32,2
DESVIO	2,49	2,46	2,53	2,61	2,60	2,52	2,53	2,51	2,54	2,52	2,50
HORA	29/08	30/08	31/08	01/09	02/09	03/09	04/09	05/09	06/09	07/09	08/09
9	34,7	38,6	37,7	37,2	38,8	37,5	37,8	37,2	37,2	37,3	35,7
15	35,0	32,8	32,6	31,1	32,0	32,0	32,8	31,3	31,2	33,7	31,7
21	26,7	26,8	27,6	26,2	26,2	26,7	26,7	26,2	26,2	26,1	25,7
MÉDIA	32,1	32,7	32,6	31,5	32,3	32,1	32,4	31,6	31,5	32,4	31,0
DESVIO	2,50	2,49	2,46	2,44	2,42	2,40	2,38	2,35	2,33	2,31	2,29
HORA	09/09	10/09	11/09	12/09	13/09	14/09	15/09	16/09	17/09	18/09	
9	36,2	36,1	36,7	36,7	37,8	37,7	37,0	35,1	37,3	36,1	
15	31,2	32,0	31,8	31,6	31,2	31,8	31,3	31,2	31,8	30,6	
21	25,7	25,6	26,7	25,1	26,6	25,3	26,7	26,6	26,1	26,6	
MÉDIA	31,0	31,2	31,7	31,1	31,9	31,6	31,7	31,0	31,7	31,1	
DESVIO	2,27	2,26	2,24	2,23	2,21	2,20	2,18	2,17	2,15	2,16	

Fonte: Autor, (2017).

Tabela 12 – Leituras do sensor de temperatura do gasômetro - Biodigestor 2.

	DIAS										
HORA	18/08	19/08	20/08	21/08	22/08	23/08	24/08	25/08	26/08	27/08	28/08
9	27,4	27,6	27,5	26,6	27,9	28,0	28,4	28,1	27,5	27,9	27,7
15	33,5	33,5	34,0	33,5	34,1	33,0	34,5	33,8	34,3	33,6	33,3
21	30,3	30,2	30,1	30,5	30,2	30,4	30,2	30,7	30,5	30,5	30,1
MÉDIA	30,4	30,4	30,5	30,2	30,7	30,5	31,0	30,9	30,8	30,7	30,4
DESVIO	2,37	2,35	2,44	2,46	2,48	2,45	2,45	2,43	2,46	2,45	2,43
HORA	29/08	30/08	31/08	01/09	02/09	03/09	04/09	05/09	06/09	07/09	08/09
9	27,6	29,6	30,0	29,6	29,5	29,3	29,6	29,8	29,6	29,5	29,1
15	33,5	34,7	34,0	33,9	34,1	33,6	34,0	33,5	33,6	33,4	32,8
21	30,0	30,1	30,5	29,7	29,6	29,9	29,6	29,8	29,6	29,6	29,4
MÉDIA	30,4	31,5	31,5	31,1	31,1	30,9	31,1	31,0	30,9	30,8	30,4
DESVIO	2,41	2,41	2,38	2,35	2,33	2,31	2,29	2,26	2,24	2,21	2,19
HORA	09/09	10/09	11/09	12/09	13/09	14/09	15/09	16/09	17/09	18/09	
9	29,4	29,0	29,0	30,0	29,9	30,1	29,5	29,7	29,5	29,8	
15	33	33,2	32,7	33,7	33,1	33,5	33,2	33,1	33,1	32,8	
21	29,0	29,0	29,5	29,1	29,7	29,3	29,5	29,5	29,5	29,5	
MÉDIA	30,5	30,4	30,4	30,9	30,9	31,0	30,7	30,8	30,7	30,7	
DESVIO	2,17	2,18	2,16	2,15	2,13	2,12	2,11	2,09	2,10	1,49	

Fonte: Autor, (2017).

Tabela 13 – Leituras do sensor de temperatura da câmara de digestão - Biodigestor 3.

	DIAS										
HORA	18/08	19/08	20/08	21/08	22/08	23/08	24/08	25/08	26/08	27/08	28/08
9	31,0	34,6	35,3	34,5	34,3	34,9	35,7	35,5	34,9	35,5	35,3
15	35,1	35,8	36,3	35,8	36,0	36,0	36,5	35,6	36,6	35,7	35,7
21	26,3	26,6	26	26,6	26,3	26,8	26,8	26,7	27,0	26,5	26,6
MÉDIA	30,8	32,3	32,5	32,3	32,2	32,6	33,0	32,6	32,8	32,6	32,5
DESVIO	2,38	2,36	2,44	2,45	2,45	2,38	2,39	2,38	2,42	2,41	2,39
HORA	29/08	30/08	31/08	01/09	02/09	03/09	04/09	05/09	06/09	07/09	08/09
9	29,1	38,8	37,8	37,6	38,5	37,8	38,1	36,2	37,5	37,6	36,1
15	35,6	33,3	32,6	32,4	32,6	32,6	32,8	32	32,2	32,3	32,0
21	26,6	26,6	27,5	26,6	26,6	26,8	26,7	26,6	27,1	26,6	26,2
MÉDIA	30,4	32,9	32,6	32,2	32,6	32,4	32,5	31,6	32,3	32,2	31,4
DESVIO	2,39	2,38	2,35	2,32	2,31	2,28	2,27	2,24	2,22	2,20	2,18
HORA	09/09	10/09	11/09	12/09	13/09	14/09	15/09	16/09	17/09	18/09	
9	36,6	37,0	37,1	37,2	37,5	38,0	37,3	35,9	37,7	36,8	
15	31,7	32,5	32	34,3	31,8	31,9	32,0	31,6	31,7	31,1	
21	26,3	25,9	26,8	26,2	27,0	26,4	26,8	26,5	26,8	26,6	
MÉDIA	31,5	31,8	32,0	32,6	32,1	32,1	32,0	31,3	32,1	31,5	
DESVIO	2,16	2,15	2,13	2,11	2,09	2,08	2,07	2,05	2,04	2,02	

Fonte: Autor, (2017).

Tabela 14 – Leituras do sensor de temperatura do gasômetro - Biodigestor 3.

	DIAS										
HORA	18/08	19/08	20/08	21/08	22/08	23/08	24/08	25/08	26/08	27/08	28/08
9	27,3	27,6	27,5	27,3	27,9	28,0	28,6	28,2	27,6	28,1	27,9
15	33,1	33,3	33,8	33,3	33,8	32,8	34,3	33,6	34,2	33,6	33,2
21	29,4	29,8	29,9	30,1	29,8	30,0	29,9	30,4	30,2	30,2	29,8
MÉDIA	29,9	30,2	30,4	30,2	30,5	30,3	30,9	30,7	30,7	30,6	30,3
DESVIO	3,47	3,99	4,16	4,17	4,14	4,14	4,19	4,17	4,20	4,21	4,21
HORA	29/08	30/08	31/08	01/09	02/09	03/09	04/09	05/09	06/09	07/09	08/09
9	27,6	30,1	30,3	30,1	30,0	29,6	28,7	30,2	30,1	30,0	29,5
15	33,5	34,4	33,6	33,6	33,9	33,3	33,6	33,1	33,3	33,1	32,5
21	29,7	29,9	30,2	29,4	29,4	29,6	29,4	29,5	29,3	29,2	29,0
MÉDIA	30,3	31,5	31,4	31,0	31,1	30,8	30,6	30,9	30,9	30,8	30,3
DESVIO	4,21	4,25	4,27	4,29	4,32	4,33	4,36	4,33	4,33	4,35	4,34
HORA	09/09	10/09	11/09	12/09	13/09	14/09	15/09	16/09	17/09	18/09	
9	29,7	29,3	29,1	30,3	30,3	30,6	29,5	29,6	29,5	30,0	
15	32,5	32,8	32,2	33,2	32,6	33,1	32,6	32,5	32,6	32,3	
21	28,6	28,6	29,1	28,7	29,3	28,9	29,1	29,1	29,1	29,1	
MÉDIA	30,3	30,2	30,1	30,7	30,7	30,9	30,4	30,4	30,4	30,5	
DESVIO	4,34	4,34	4,34	4,34	4,35	4,36	4,36	4,34	4,35	4,32	

Fonte: Autor, (2017).

Tabela 15 – Leituras do sensor de temperatura da câmara de digestão - Biodigestor 4.

	DIAS										
HORA	18/08	19/08	20/08	21/08	22/08	23/08	24/08	25/08	26/08	27/08	28/08
9	28,6	29,9	32,6	33,1	33,5	33,8	34,9	34,6	34,0	34,7	34,6
15	34,8	35,0	35,5	35,1	35,5	35,1	35,8	35,0	35,9	35,0	35,0
21	27,4	27,4	26,3	26,6	26,2	26,5	26,5	26,3	26,5	26,1	26,1
MÉDIA	30,3	30,8	31,5	31,6	31,7	31,8	32,4	32,0	32,1	31,9	31,9
DESVIO	2,38	2,36	2,44	2,45	2,45	2,38	2,39	2,38	2,42	2,41	2,39
HORA	29/08	30/08	31/08	01/09	02/09	03/09	04/09	05/09	06/09	07/09	08/09
9	34,7	38,5	37,3	37,2	38,1	37,5	37,6	37,1	37,1	37,4	35,7
15	35,0	32,6	32,0	31,8	32,0	32,0	32,1	31,4	31,6	33,7	31,3
21	26,3	26,1	27,0	26,2	26,2	26,3	26,3	26,2	26,6	26,3	25,8
MÉDIA	32,0	32,4	32,1	31,7	32,1	31,9	32,0	31,6	31,8	32,5	30,9
DESVIO	2,38	2,36	2,44	2,45	2,45	2,38	2,39	2,38	2,42	2,41	2,39
HORA	09/09	10/09	11/09	12/09	13/09	14/09	15/09	16/09	17/09	18/09	
9	36,2	36,8	36,8	36,8	37,1	37,7	37,0	35,8	37,4	36,8	
15	31,2	32,0	31,1	31,5	31,1	31,1	31,4	31,1	31,1	30,5	
21	25,8	25,5	26,3	25,8	26,5	25,9	26,3	26,0	26,3	26,0	
MÉDIA	31,1	31,4	31,4	31,4	31,6	31,6	31,6	31,0	31,6	31,1	
DESVIO	2,38	2,36	2,44	2,45	2,45	2,38	2,39	2,38	2,42	2,41	

Fonte: Autor, (2017).

Tabela 16 – Leituras do sensor de temperatura do gasômetro - Biodigestor 4.

	DIAS										
HORA	18/08	19/08	20/08	21/08	22/08	23/08	24/08	25/08	26/08	27/08	28/08
9	27,4	27,6	27,5	27,3	27,9	28,0	28,5	28,3	27,7	28,1	27,8
15	32,4	32,6	32,9	32,6	33,0	32,1	33,6	33,0	33,3	32,8	32,5
21	29,8	29,9	30,0	30,3	30,1	30,8	30,1	30,6	30,4	30,5	30,0
MÉDIA	29,9	30,0	30,1	30,1	30,3	30,3	30,7	30,6	30,5	30,5	30,1
DESVIO	3,24	3,41	3,56	3,64	3,70	3,72	3,83	3,85	3,90	3,92	3,93
HORA	29/08	30/08	31/08	01/09	02/09	03/09	04/09	05/09	06/09	07/09	08/09
9	27,7	30,0	30,1	30,0	29,8	29,5	29,9	30,0	30,0	29,9	29,2
15	32,6	33,8	33,1	33,1	33,3	32,8	33,0	32,6	32,8	32,5	32,0
21	29,9	30,1	30,4	29,6	29,7	29,9	29,6	29,7	29,5	29,5	29,3
MÉDIA	30,1	31,3	31,2	30,9	30,9	30,7	30,8	30,8	30,8	30,6	30,2
DESVIO	3,95	4,02	4,06	4,09	4,14	4,17	4,20	4,20	4,21	4,25	4,24
HORA	09/09	10/09	11/09	12/09	13/09	14/09	15/09	16/09	17/09	18/09	
9	29,5	29,1	29,1	30,1	30,1	30,4	29,4	29,5	29,5	29,8	
15	32,0	32,3	31,8	32,8	32,2	32,6	32,3	32,2	32,3	32,0	
21	28,9	28,9	29,3	29,0	29,5	29,1	29,4	29,4	29,3	29,3	
MÉDIA	30,1	30,1	30,1	30,6	30,6	30,7	30,4	30,4	30,4	30,4	
DESVIO	4,25	4,25	4,26	4,26	4,27	4,29	4,29	4,28	4,30	4,31	

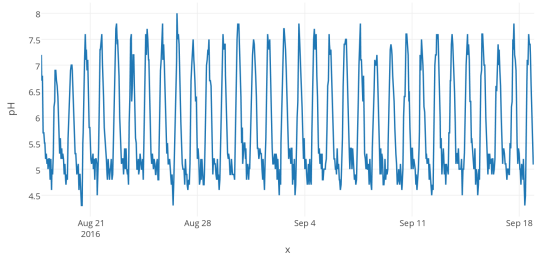
Fonte: Autor, (2017).

Mediante os dados das tabelas, embora existam algumas variações nos valores ao longo do tempo, é possível afirmar que durante toda a realização dos experimentos a temperatura se manteve na faixa mesofílica, o que contribuiu de forma significativa no desenvolvimento das atividades bactericidas, e na capacidade das bactérias metanogênicas em produzir o biogás.

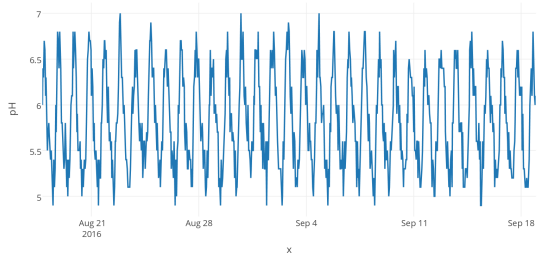
Visando não ocorre alterações no estudo do processo biológico, durante todo o experimento, foram feitas análises dos valores de pH dos substratos em estudos e esboçados gráficos dos dados coletados (Figura 25).

Figura 25 – Gráfico com os valores dos sensores de pH.

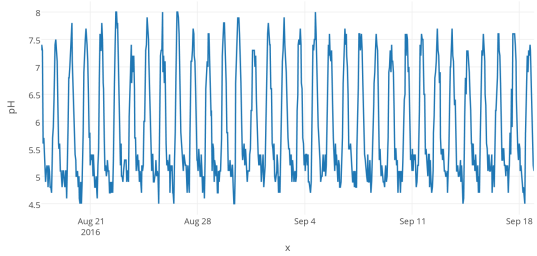
(a) pH do biodigestor 1 - 100% bovino



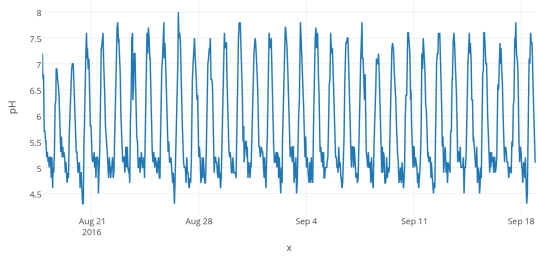
(b) pH do biodigestor 2 - 100% suíno



(c) pH do biodigestor 3 - 50%/50% bovino/suíno



(d) pH do biodigestor 4 - 75%/25% bovino/suíno



Fonte: Autor (2017).

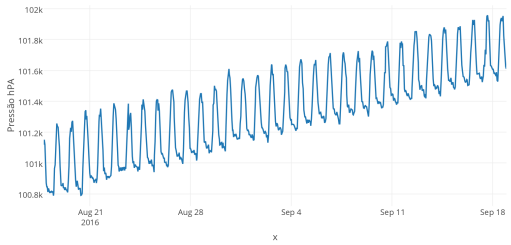
Analisando os dados de forma geral, (Figura 25), é perpectível que os valores de pH manteve-se ao longo do experimento dentro de uma faixa considerada ideal, segundo os dados da literatura. De acordo com a literatura o valor de pH varia entre 6,0 e 8,0, tendo como 7,0 o ponto ótimo. mediante a isso, podemos concluir que, os valores encontrado na pesquisa contribuiu de forma significativa para um melhor aproveitamento da produção de biogás.

As médias diárias das medidas de pH registradas em cada biodigestor, assim como os desvios-padrões, são apresentados nos Apêndices B, C, D, E.

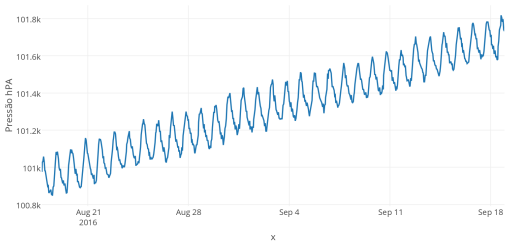
Assim como os demais parâremtros analisados, a pressão apresentada no gasômetro foi outro fator que contribuiu de forma significativamente para o processo. Mediante os dados coletados, foi esboçado um gráfico com os valores dos dias de aquisicão dispostos na na Figura 26.

Figura 26 – Gráfico com os valores dos sensores de pressão.

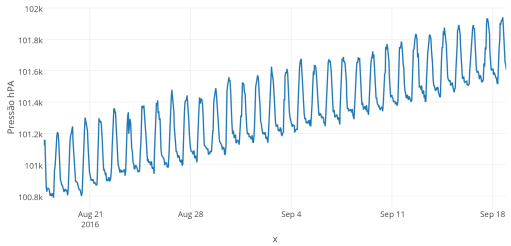
(a) Biodigestor 1 - 100% bovino



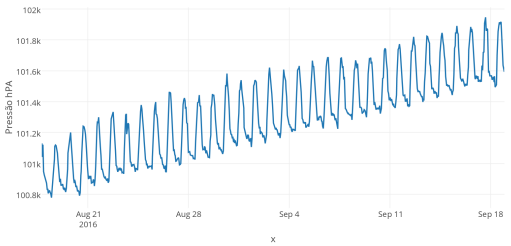
(b) Biodigestor 2 - 100% suíno



(c) Biodigestor 3 - 50%/50% bovino/suíno



(d) Biodigestor 4 - 75%/25% bovino/suíno



Fonte: Autor (2017).

Analisando todos os gráficos de uma forma geral, percebe-se, que o sistema foi eficiente e cumpriu com os objetivos propostos durante a realização do estudo, pois o sistema de aquisição de dados proporcionou ter conhecimento em tempo real dos valores dos parâmetros analisados, o que contribuiram de forma significativa ao final na produção de biogás.

As médias diárias das medidas de pressão registradas em cada biodigestor, assim como os desvios-padrões, são apresentados nos Apêndices F, G, H, I.

4.2 Viabilidade do biofertilizante produzido na cultura do girassol

4.2.1 Análises físico-químicas

As concentrações de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, K_2O, P_2O_5) dos biofertilizantes produzidos nos biodigestores estão apresentadas na Tabela 17, mediante análises físico-químicas realizadas no Laboratório de Solos/Água, UFC/FUNCEME. As amostras foram acondicionadas individualmente em garrafas plásticas estéreis, e, posteriormente foram transportadas ao laboratório. O nitrogênio foi determinado pelo método Micro Kjedahl. Os teores de fósforo foram obtidos por colorimetria, os de potássio por fotometria de chama, os demais nutrientes por absorção atômica e os valores expressos em g/L, conforme as recomendações de Malavolta (1970), Malavolta, Vitti e Oliveira (1997), Santos (1991).

Tabela 17 – Caracterização físico-química do biofertilizante suíno e bovino produzidos no experimento.

Amostras	g/L								dSm^{-1}
	N-t	P-t	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K_2O	P_2O_5	pH	CE
100% Bovino	1,30	0,20	0,51	0,52	0,75	0,62	0,46	6,0	1,74
100% Suíno	3,40	0,50	0,78	1,29	0,65	0,95	1,16	7,0	10,31
50% Bov.-50% Suí.	2,70	0,44	0,59	0,68	0,84	0,72	1,01	6,5	7,50
75% Bov.-25% Suí.	1,90	0,30	0,46	0,62	0,56	0,56	0,70	6,8	5,30

Fonte: Autor (2017).

Mediante os dados apresentados na análise físico-química, os biofertilizantes utilizados apresentaram em sua composição alguns dos principais macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg) requeridos na nutrição das plantas. Adicionalmente, condutividade elétrica e pH, apresentaram-se dentro de níveis aceitáveis, aos estabelecidos pela CETESB (2014).

4.2.2 Biofertilizante suíno

Os dados obtidos mediante a análise de variância (ANOVA) estão expressos nas Tabelas 18 e 19 abaixo.

Tabela 18 – Resumos das análises de variância referentes ao número de folhas (NF), diâmetro do coleto (DC), altura da parte aérea (APA) de plantas de girassol submetidas a diferentes concentrações de biofertilizante suíno como fonte de N-total ao longo do tempo.

Fator de Variação	**GL**	**Quadrado Médio**		
		NF	DC	APA
Tratamento	3	21,74*	22,37*	222,62*
Tempo	3	58,11*	25,26*	263,53*
Tratamento x Tempo	9	3,95*	0,47*	13,95*
Erro	64	0,17	0,05	1,05
Total Corrigido	79	-	-	-
CV (%)	-	6,8	6,2	8,4

Significativo a 0,01 pelo teste F*, GL: grau de liberdade e CV: coeficiente de variação.
Fonte: Autor (2017).

Tabela 19 – Resumos das análises de variância referentes à matéria fresca da parte aérea (MFPA) e matéria seca da parte aérea (MSPA) de plantas de girassol submetidas a diferentes concentrações de biofertilizante suíno.

Fator de Variação	**GL**	**Quadrado Médio**	
		MFPA	MSPA
Tratamento	3	184,08*	2,04*
Tempo	2	177,84*	1,86*
Tratamento x Tempo	6	36,04*	0,27*
Erro	48	0,05	0,00
Total Corrigido	59	-	- -
CV (%)	-	5,6	9,4

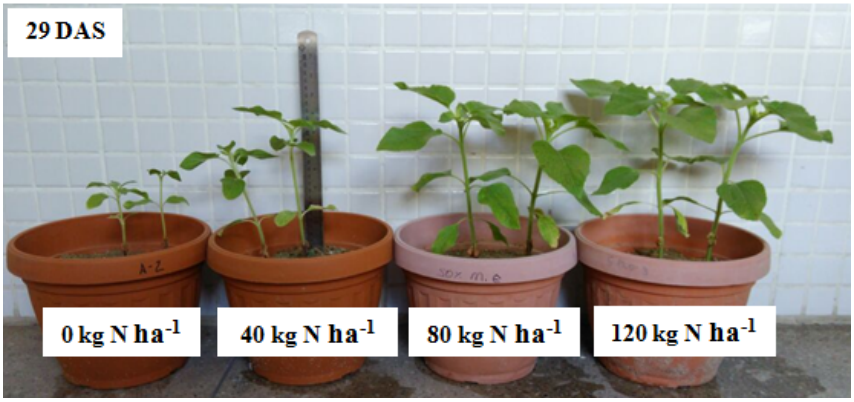
Significativo a 0,01 pelo teste F*, GL: grau de liberdade e CV: coeficiente de variação.
Fonte: Autor (2017).

A análise de variância - ANOVA (Tabela 18) dos parâmetros de número de folhas (NF), diâmetro do coleto (DC), altura da parte aérea (APA) verificou-se que o uso do biofertilizante suíno produzido em um protótipo de biodigestor modelo indiano como fonte de N-total na adubação das plantas de girassol afetou de forma significativa a 1% de probabilidade para todas as variáveis analisadas durante o estudo, havendo interação entre os fatores concentrações de N-total (tratamentos) e tempo (dias após a semeadura).

Já em relação à produção de matéria fresca da parte aérea (MFPA) e matéria seca da parte aérea (MSPA) coletados aos 21, 25 e 29 DAS, os dados de ANOVA (Tabela 19) revelaram que o uso do biofertilizante influenciou de maneira significativa a também a 1% de probabilidade em todas as variáveis analisadas.

Adicionalmente, aos 29 DAS, as análises visuais das plântulas evidenciaram um maior crescimento nos tratamentos que receberam maiores concentrações de biofertilizantes (Figura 27).

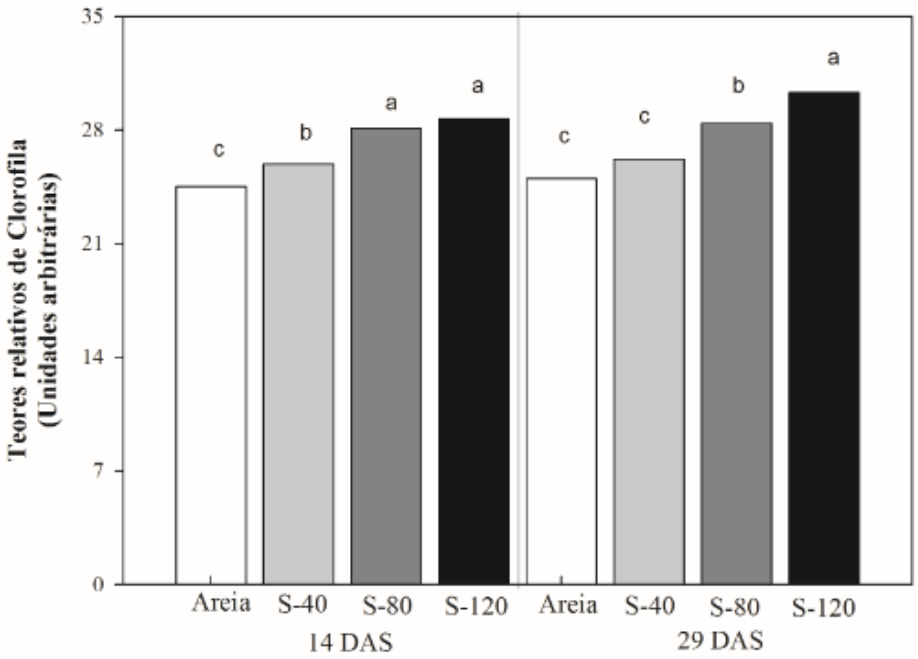
Figura 27 – Plântulas de girassol aos 29 dias após semeadura (DAS), crescendo sob diferentes concentrações de biofertilizante suíno em condições de casa de vegetação.



Fonte: Autor (2017).

Os teores relativos de clorofila foram mais elevados nos tratamentos com 80 e 120 kg N ha^{-1} (Figura 28), sendo, aos 29 DAS, 13,6 e 21% superiores ao controle, respectivamente.

Figura 28 – Teores relativos de clorofila aos 14 e 29 dias após semeadura de plântulas de girassol submetidas a diferentes concentrações de biofertilizante suíno. As barras representam os valores das médias. Valores seguidos por letras distintas representam diferenças estatísticas entre os tratamentos de acordo com teste de Tukey (P $\leq$ 0,05).



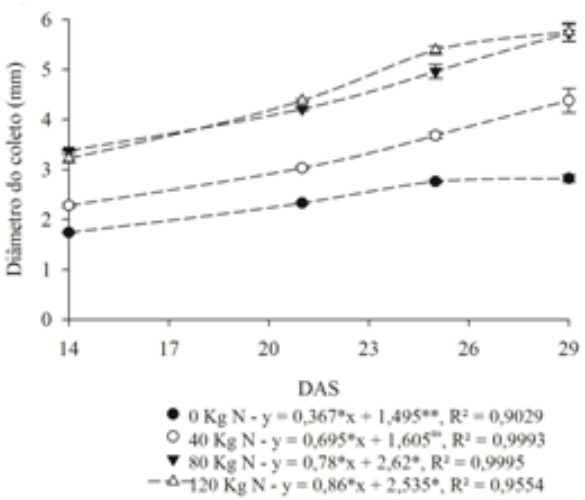
Fonte: Autor (2017).

Segundo Coelho et al. (2010) o Nitrogênio, por estar presente na molécula de clorofila, seu fornecimento está associado aos teores relativos desta molécula. Brighenti (2012), observou que plantas de girassol apresentavam aos 30 DAE valor médio de ICF de 35,3, valor próximo ao encontrado no presente trabalho. Deste modo, a maior disponibilidade de N nas concentrações crescentes de biofertilizante ocasionaram incrementos gradativos nos teores relativos de clorofila.

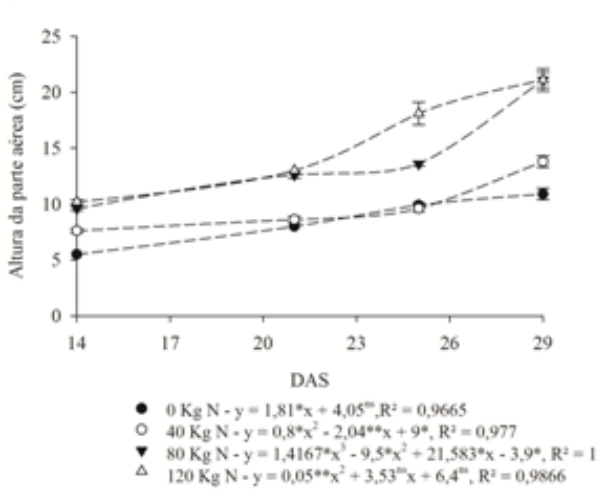
Na Figura 29 podem ser observadas as tendências das plântulas de girassol nos parâmetros diâmetro do coleto Figura 29a, altura da parte aérea Figura 29b, e número de folhas Figura 29c no decorrer do tempo.

Figura 29 – Diâmetro do coleto (A), altura da parte aérea (B) e número de folhas (C) de plântulas de girassol, submetidas a diferentes concentrações de biofertilizante suíno como fonte de N-total em diferentes períodos de coleta em dias após a semeadura (DAS). Os valores representam as média de 5 repetições ± os erros padrão. *Significativo a 0,01 de probabilidade; ** Significativo a 0,05 de probabilidade; ns Não Significativo.

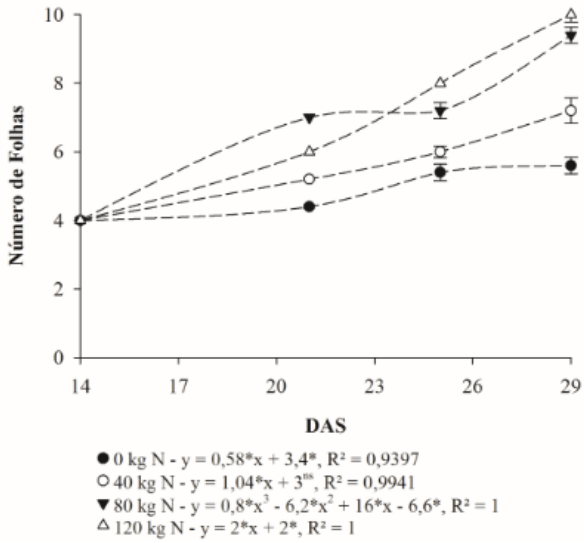
(a) Diâmetro do coleto



(b) Altura da parte aérea



(c) Número de folhas



Fonte: Autor (2017).

De modo geral, o tratamento contendo 120 kg N ha^{-1} foi o que promoveu os maiores incrementos nas variáveis analisadas, embora não pareça diferir do de 80 kg ha^{-1}. As equações do tratamento 120 kg N ha^{-1} ajustaram-se a modelos lineares para o diâmetro do caule e número de folhas (Figuras 29b e 29c) e quadrática para a altura da parte aérea (Figura 29b).

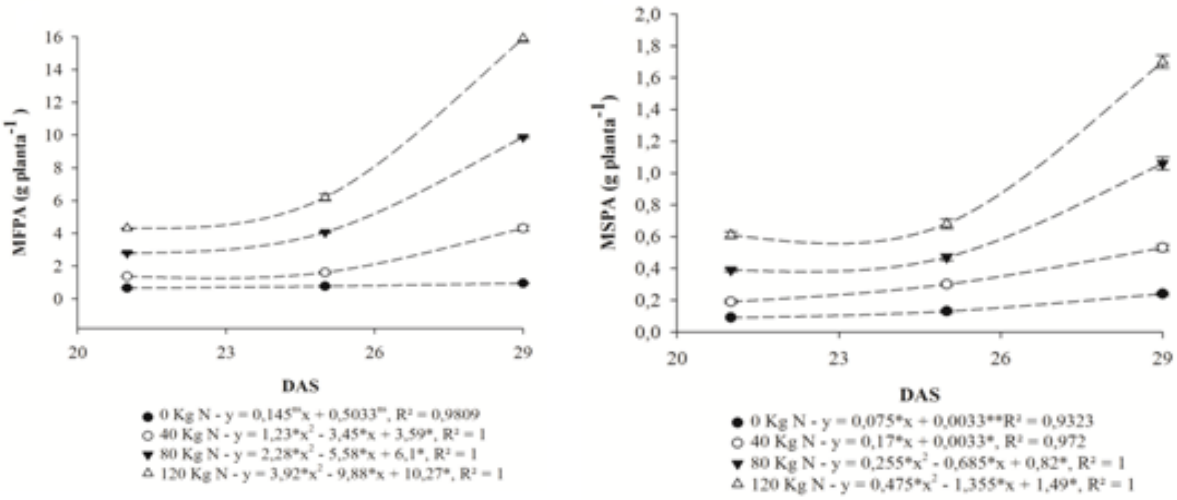
Adicionalmente, verificou-se incremento nos tratamentos 40, 80 e 120 kg N ha^{-1} em relação ao controle para todos os períodos de coleta. Contudo, as maiores diferenças ocorreram aos 29 DAS. De modo geral, os maiores valores foram encontrados nas plantas que receberam 120 kg N ha^{-1}. Aos 29 DAS, o tratamento 120 kg N ha^{-1} mostrou-se superior ao controle em 104, 93,5 e 78,5%, para as variáveis diâmetro do coleto Figura 29a, altura da parte aérea Figura 29b e número de folhas Figura 29c, respectivamente.

De acordo com Silva, Couto e Santos (2010), o N é um dos principais macronutrientes associados ao crescimento das plantas, baixas concentrações afetam de forma direta o número de folhas, área foliar, diâmetro do coleto e a altura. De maneira geral, as análises dos parâmetros: diâmetro do coleto Figura 29a, altura da parte aérea Figura 29b e número de folhas Figura 29c, demonstraram que a aplicação de biofertilizante suíno ao meio de crescimento, principalmente a 120 kg de N ha^{-1}, promoveu o aumento quando comparados aos tratamento controle. Nos resultados supracitados, pode-se destacar o incremento no número de folhas, haja vista, sua importância no processo fotossintético, principalmente quando associado ao aumento da área foliar (KARADOĞAN; AKGÜN; ALTINDAL, 2009). Adicionalmente, é possível que o incremento nos teores relativos de clorofila (Figura 28) ocasionados pelas concentrações crescentes de biofertilizante tenha contribuído para uma maior capacidade fotossintética, e, deste modo, incremento nas variáveis analisadas.

De modo geral, a MFPA (Figura 30a) e a MSPA (Figura 30b), os tratamentos de 80 e, principalmente, o de 120 kg N ha^{-1}, foram os que obtiveram os maiores acúmulos de matéria ao final do período de coleta em relação ao controle. Tanto a MFPA como a MSPA, se ajustaram às curvas de resposta com equações quadráticas e coeficientes de ajuste $R^2 = 1$.

Figura 30 – Matéria fresca da parte aérea (MFPA) e matéria seca da parte aérea (MSPA), de plântulas de girassol, submetidas a diferentes concentrações de biofertilizante suíno como fonte de N-total em diferentes períodos de coleta em dias após a semeadura (DAS). Os valores representam as média de 5 repetições ± os erros padrão. *Significativo a 0,01 de probabilidade; ** Significativo a 0,05 de probabilidade; ns Não Significativo.

(a) Matéria fresca da parte aérea (MFPA) (b) Matéria seca da parte aérea (MSPA)



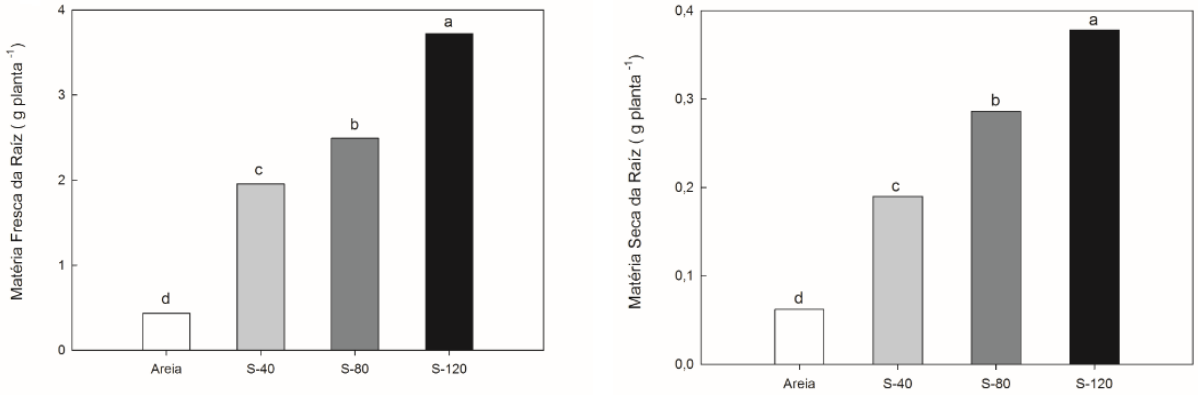
Fonte: Autor (2017).

Os resultados para MSPA são semelhantes ao encontrado por Figueredo (2012) que observou um aumento na MSPA em função do aumento das doses de biofertilizantes no desempenho agronômico do amendoim.

Nas variáveis matéria fresca das raízes (MFR) (Figura 31a) e matéria seca das raízes (MSR) (Figura 31b), o tratamento de 120 kg N ha^{-1}, foi o que obteve os maiores valores ao final do período de coleta (29 DAS), sendo, respectivamente, 620 e 533% maiores do que o tratamento controle.

Figura 31 – Matéria fresca (A) e seca (B) das raízes de plântulas de girassol, submetidas a diferentes concentrações de biofertilizante suíno como fonte de N-total aos 29 DAS após a semeadura. As barras representam os valores das médias de 5 repetições. Valores seguidos por letras distintas representam diferenças estatísticas entre os tratamentos de acordo com teste de Tukey ($P \leq 0{,}05$)

(a) Matéria fresca (b) Matéria seca

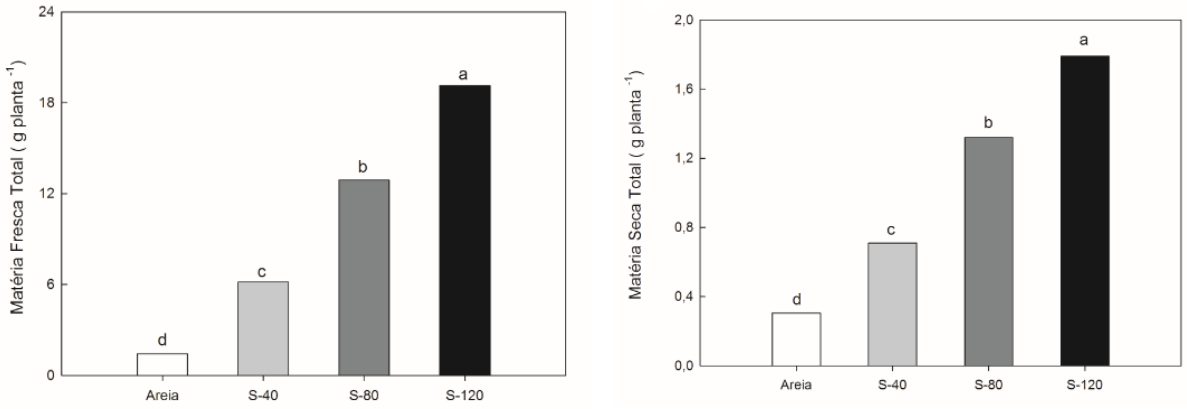


Fonte: Autor (2017).

Para a produção de matérias frescas (MFT) (Figura 32a) e secas totais (MST) (Figura 32b), os valores obtidos demonstraram maiores incrementos nos tratamentos com maiores concentrações biofertilizante, destacando-se as plantas que receberam 80 e 120 kg N ha^{-1}. Ao final do período de análise (29 DAS), as diferenças dos tratamentos 80 e 120 kg N ha^{-1} em relação ao controle (ausência de biofertilizante) foram de 850 e 900% para MFT e de 316 e 568% para MST, respectivamente.

Figura 32 – Matéria fresca (A) e seca (B) totais aos 29 dias após semeadura de plântulas de girassol submetidas a diferentes concentrações de biofertilizante suíno. As barras representam os valores das médias de 5 repetições. Valores seguidos por letras distintas representam diferenças estatísticas entre os tratamentos de acordo com teste de Tukey ($P \leq 0{,}05$).

(a) Matéria fresca (b) Matéria seca



Fonte: Autor (2017).

Os resultados encontrados para essas variáveis foram semelhantes aos descritos por Barboza et al. (2010), em experimentos utilizando lodo de esgoto como fonte de nutrientes no cultivo de plantas de feijão. Os autores observaram que em concentrações mais elevadas (75 mg ha^{-1}) do resíduo, houve incrementos na matéria seca da parte aérea e das raízes em relação ao controle (0 mg ha^{-1}).

No presente trabalho, demonstrou-se a viabilidade da utilização de biofertilizante suíno no cultivo de plantas. Deste modo, devido à crescente demanda por alimentos, com menor emprego de fertilizantes sintéticos e agrotóxicos, o biofertilizante pode ser uma alternativa adicionalmente, acredita-se na redução de riscos de contaminação ao homem, com o uso de produtos orgânicos, redução nos níveis de contaminação do solo, da água, da planta e dos componentes vivos dos agroecossistemas (DINIZ et al., 2011). Para Neto (2006), os biofertilizantes líquidos podem ser empregados em diversas culturas, seja como única fonte de nutrientes, ou associados aos adubos minerais e ocasionam efeitos benéficos nas características químicas, físicas e biológicas do solo. De forma similar ao presente trabalho, outros estudos também demonstraram a eficiência da utilização de biofertilizante na adubação.

Dias et al. (2011) observaram um aumento na produtividade do maracujá em função do aumento na frequência de aplicação de biofertilizante. Já Chiconato et al. (2013), em estudos com a cultura do alface, observaram que a maior dose de biofertilizante (60 m^3 ha^{-1}) foi responsável pelo maior desenvolvimento da cultura. Entretanto, o excesso de nutrientes pode provocar estabilização e a queda no rendimento da cultura, como

encontrado por Oliveira et al. (2001) em feijão de corda.

A utilização de resíduos na atividade agrícola é interessante do ponto de vista econômico por proporcionar aumento de produtividade das plantas e reduzir o custo com fertilizantes, além da deposição segura desses materiais no ambiente (FIGUEIREDO; TANAMATI, 2010).

Embora ainda no Brasil não tenha uma legislação específica para o uso de resíduos na agricultura (ROSSOL et al., 2012). Essa problemática se encontra inserida no contexto atual da política nacional de resíduos sólidos, com base na lei número 12.305/2010 Brasil (2010). Institui a política nacional de resíduos sólidos e prever entre os seus objetivos a proteção da saúde pública e da qualidade ambiental, a não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos além do estímulo à adoção de padrões sustentáveis de produção e consumo de bens e serviços.

A cultura do girassol possui em suas indicações de cultivo uma adubação mínima e máxima variando entre 40 e 80 kg N ha^{-1} (LOBO; FILHO; BRITO, 2011). Contudo, verificou-se na presente pesquisa maiores valores nas variáveis analisadas no tratamento de 120 kg N ha^{-1}. Assim, sugere-se ser possível a aplicação de concentrações elevadas de biofertilizante como fonte nutricional.

4.2.3 Biofertilizante bovino

Os dados obtidos mediante a análise de variância (ANOVA) estão expressos nas Tabelas 20 e 21 a seguir.

Tabela 20 – Resumos das análises de variância referentes ao número de folhas (NF), diâmetro do coleto (DC), altura da parte aérea (APA) de plantas de girassol submetidas a diferentes concentrações de biofertilizante bovino como fonte de N-total ao longo do tempo.

Fator de Variação	**GL**	**Quadrado Médio**		
		NF	DC	APA
Tratamento	3	7,64*	3,33*	38,44*
Tempo	3	26,47**	9,82*	160,39*
Tratamento x Tempo	9	1,15*	0,23*	4,43*
Erro	64	0,39	0,03	0,72
Total Corrigido	79	-	-	-
CV (%)	-	11,4	6,6	8,8

Significativo a 0,01 pelo teste F*,significativo a 0,05 pelo teste F**, GL: grau de liberdade e CV: coeficiente de variação.
Fonte: Autor (2017).

Tabela 21 – Resumos das análises de variância referentes à matéria fresca da parte aérea (MFPA) e matéria seca da parte aérea (MSPA) de plantas de girassol submetidas a diferentes concentrações de biofertilizante bovino.

Fator de Variação	**GL**	**Quadrado Médio**	
		MFPA	MSPA
Tratamento	3	21,76*	0,16*
Tempo	2	13,58*	0,20*
Tratamento x Tempo	6	2,32*	0,01*
Erro	48	0,03	0,00
Total Corrigido	59	-	-
CV (%)	-	10,4	11,6

Significativo a 0,01 pelo teste F*, GL: grau de liberdade e CV: coeficiente de variação.
Fonte: Autor (2017).

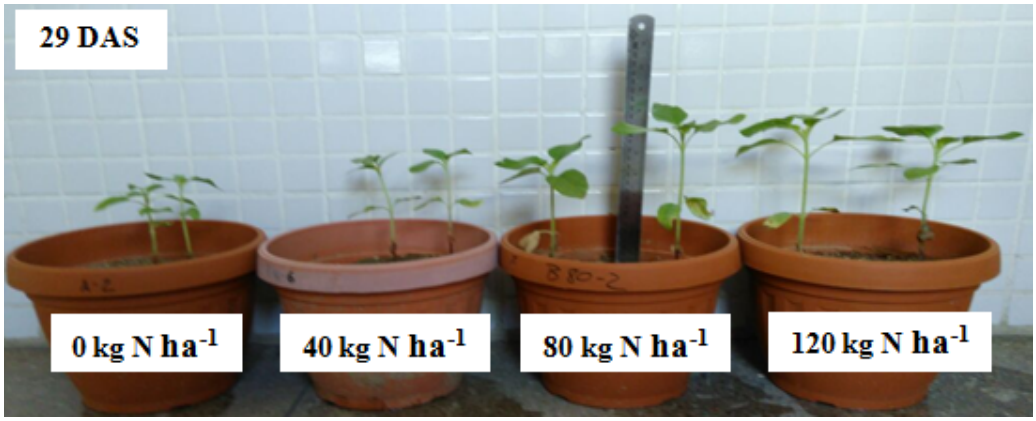
A análise de variância - ANOVA (Tabela 20) dos parâmetros de número de folhas (NF), diâmetro do coleto (DC), altura da parte aérea (APA) verificou-se que o uso do biofertilizante suíno produzido em um protótipo de biodigestor modelo indiano como fonte de N-total na adubação das plantas de girassol afetou de forma significativa a 1% nos parâmetros DC e APA para todas as variáveis analisadas, já no parâmetro NF ocorreu 1% e 5% (variável tempo) de probabilidade, porém em todos os paramêtros analisados ocorreu interação entre os fatores concentrações de N-total (tratamentos) e tempo (dias após a semeadura).

Já em relação à produção de matéria fresca da parte aérea (MFPA) e matéria seca da parte aérea (MSPA) coletados aos 21, 25 e 29 DAS, os dados de ANOVA (Tabela 21) revelaram que o uso do biofertilizante influenciou de maneira significativa a 1% de probabilidade em todas as variáveis analisadas.

O efeito positivo do biofertilizante reforça a conclusão de MELÉM JUNIOR et al. (2011) que afirmam que os adubos orgânicos, fornecem nutrientes e matéria orgânica, contribuindo para melhorar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Este fato, favorece o equilíbrio e a disponibilidade de nutrientes às plantas.

Adicionalmente, aos 29 DAS, as análises visuais das plântulas evidenciaram um maior crescimento nos tratamentos que receberam maiores concentrações de biofertilizantes (Figura 33).

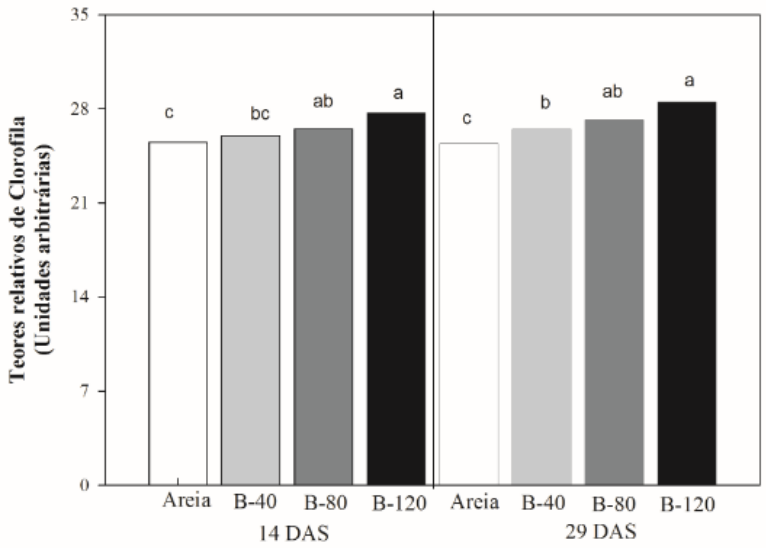
Figura 33 – Plântulas de girassol aos 29 dias após semeadura (DAS), crescendo sob diferentes concentrações de biofertilizante bovino (doses de N) em condições de casa de vegetação.



Fonte: Autor (2017).

Os teores relativos de clorofila foram mais elevados nos tratamentos com 80 e 120 kg N ha^{-1} (Figura 34), sendo, aos 29 DAS, 10 e 12% superiores ao controle, respectivamente.

Figura 34 – Teores relativos de clorofila aos 14 e 29 dias após semeadura de plântulas de girassol submetidas a diferentes concentrações de biofertilizante bovino. As barras representam os valores das médias. Valores seguidos por letras distintas representam diferenças estatísticas entre os tratamentos de acordo com teste de Tukey ($P \leq 0{,}05$).



Fonte: Autor (2017).

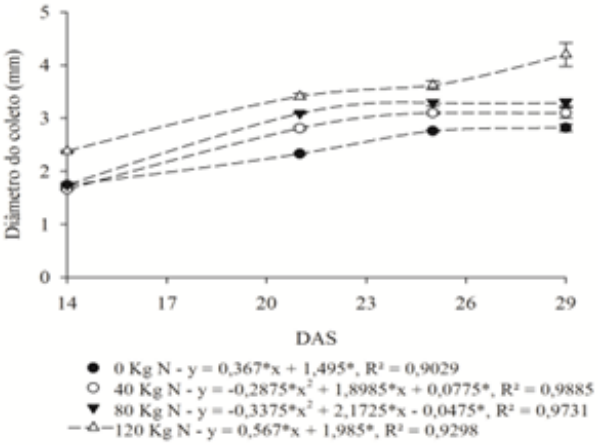
Diferentemente do presente trabalho, no qual maiores valores foram observados nos tratamentos com maiores concentrações de nitrogênio, Santos et al. (2015) em estudo com plantas de capuchinha (*Tropaeolum majus* L.) quando submetidas às doses de adubo

orgânico (cama de frango), não encontraram diferenças significativas nos teores de clorofila total. Já Brighenti (2012) também em plantas de girassol aos 30 DAS, observou valor médio de 35,3 nos teores relativos de clorofila, valor bem aproximado ao encontrado nesse estudo.

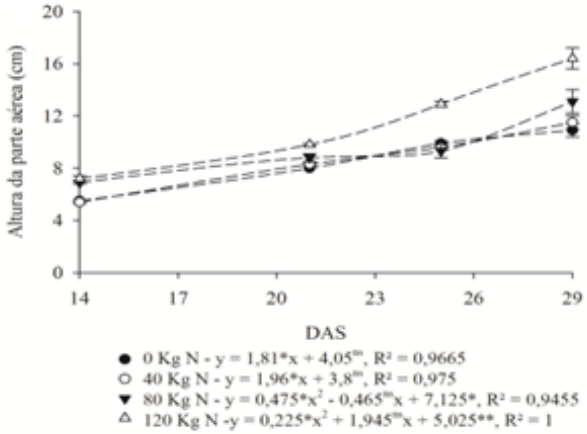
Na Figura 35 podem ser observadas as tendências das plântulas de girassol nas variáveis: diâmetro do coleto (Figura 35a), altura da parte aérea (Figura 35b), e número de folhas (Figura 35c) submetidas a diferentes concentrações de biofertilizante bovino como fonte de N-total no decorrer do tempo.

Figura 35 – Diâmetro do coleto (A), altura da parte aérea (B) e número de folhas (C) de plântulas de girassol, submetidas a diferentes concentrações de biofertilizante bovino como fonte de N-total em diferentes períodos de coleta em dias após a semeadura (DAS). Os valores representam as média de 5 repetições ± os erros padrão. *Significativo a 0,01 de probabilidade; ** Significativo a 0,05 de probabilidade; ns Não Significativo.

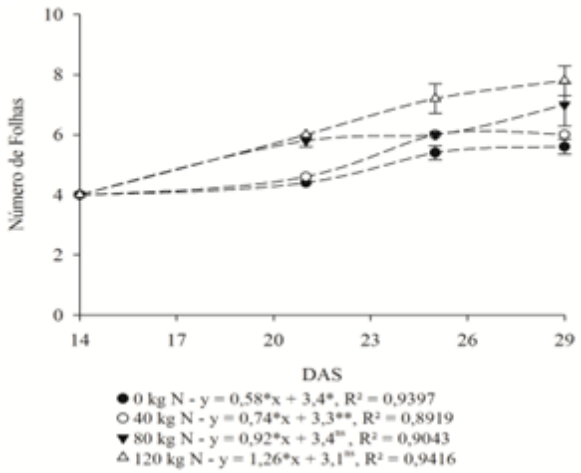
(a) Diâmetro do coleto



(b) Altura da parte aérea



(c) Número de folhas



Fonte: Autor (2017).

As diferentes concentrações de biofertilizante bovino empregadas nesse estudo aumentaram significativamente o diâmetro do caule de plantas de girassol (Figura 35a). O tratamento 120 kg N ha^{-1} promoveu os maiores incrementos nessa variável analisada. No tratamento contendo 120 kg N ha^{-1} a equação se ajustou a um modelo de regressão linear, com coeficiente de ajuste R^2= 0,9298. Tendências similares foram observadas também por Pereira et al. (2013) em feijoeiro adubado com esterco de bovino e caprino e por Lima et al. (2012) ao utilizar biofertilizante bovino como fonte orgânica em plantas de milho aos sessenta dias após a semeadura.

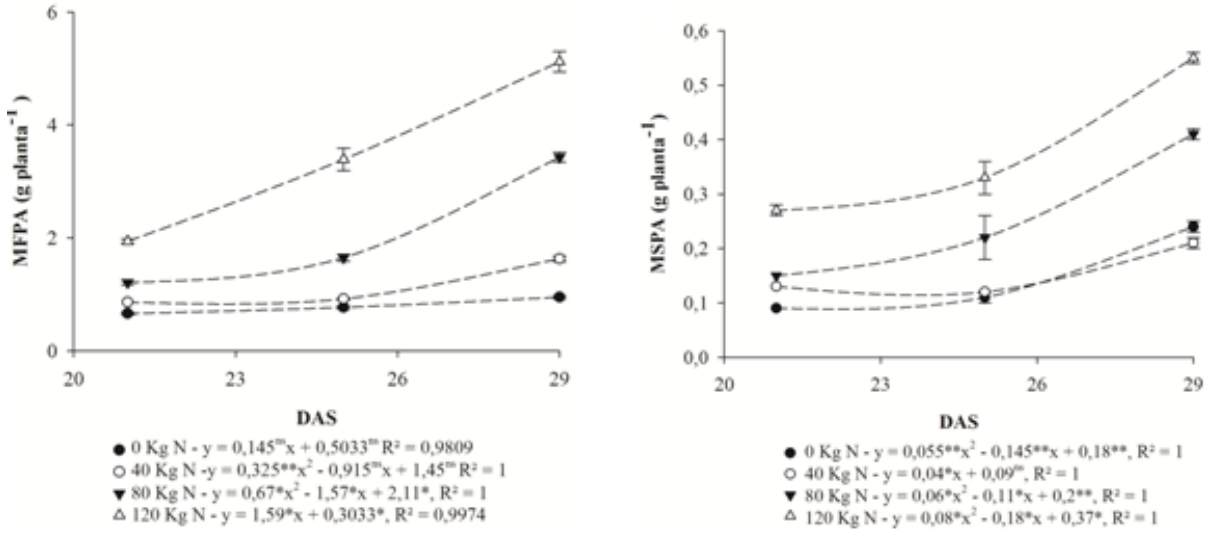
Em relação à altura das plantas (Figura 35b), ao final do ciclo o maior valor (16,4 cm) foi alcançado no tratamento com concentração de 120 kg N ha^{-1}, sendo o modelo de regressão cúbica, o qual seus dados melhor se ajustaram com coeficientes de R^2= 1. Diferentemente da altura de planta e do diâmetro do caule, o número de folhas (Figura 35c) teve tendência linear crescente em todos os tratamentos analisados. Os maiores números de folhas foram observados nos tratamentos com as maiores concentrações de biofertilizante bovino. Isto pode ser justificado pela composição nutricional, com crescentes concentrações de nitrogênio.

A superioridade presente nas maiores concentrações reforça a ideia proposta por Penteado (2007), ao revelar que o uso do biofertilizante bovino como fonte nutricional nas plantas aumenta a fertilidade do solo e funciona como promotor do crescimento. De maneira geral, as análises das variáveis, diâmetro do coleto (Figura 35a), altura da parte aérea (Figura 35b) e número de folhas (Figura 35c), demonstraram que a aplicação de biofertilizante bovino ao meio de crescimento promoveu o aumento destes quando comparados aos do tratamento controle.

De modo geral, para as variáveis matéria fresca da parte aérea - MFPA (Figura 36a) e matéria seca da parte aérea - MSPA (Figura 36b), o tratamento 120 kg N ha^{-1}, foi o que ocasionou os maiores acúmulos ao final do período de coleta em relação ao controle. Tendo o parâmetro MFPA (Figura 36a) se ajustado a um modelo linear, enquanto a MSPA (Figura 36b), ao quadrático, com coeficientes de ajuste R^2= 0,9974 e 1, respectivamente.

Figura 36 – Matéria fresca da parte aérea (MFPA) e matéria seca da parte aérea (MSPA), de plântulas de girassol, submetidas a diferentes concentrações de biofertilizante bovino como fonte de N-total em diferentes períodos de coleta em dias após a semeadura (DAS). Os valores representam as média de 5 repetições ± os erros padrão. *Significativo a 0,01 de probabilidade; ** Significativo a 0,05 de probabilidade; ns Não Significativo.

(a) Matéria fresca da parte aérea (MFPA) (b) Matéria seca da parte aérea (MSPA)



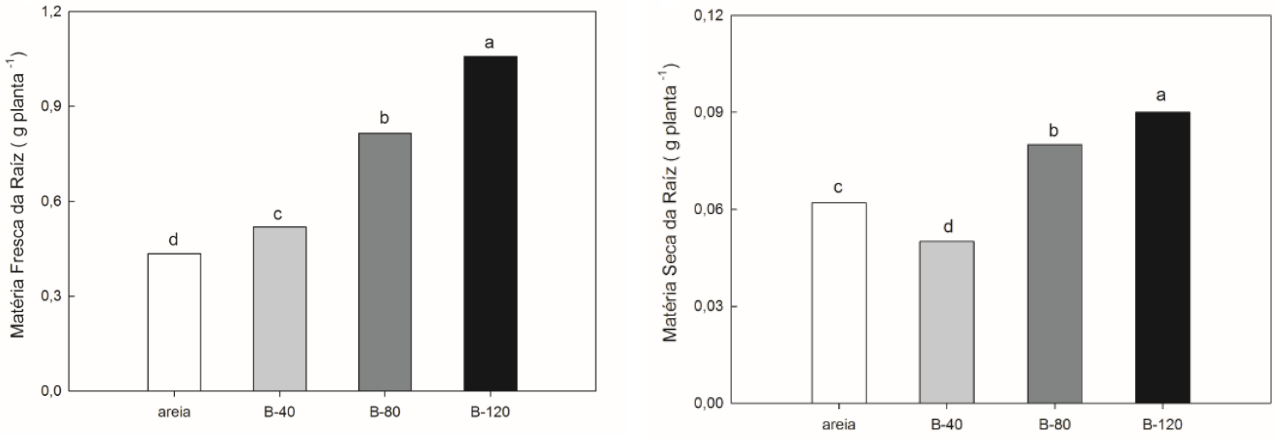
Fonte: Autor (2017).

Semelhante ao encontrado nesse estudo, Primo et al. (2010), verificou que com o aumento das dosagem de insumo orgânico promoveu aumentos na massa seca da parte aérea (MSPA) das plantas de algodão BRS verde.

Nas variáveis matéria fresca das raízes (MFR) (Figura 37a) e matéria seca das raízes (MSR) (Figura 37b), o tratamento de 120 kg N ha^{-1}, foi o que obteve os maiores valores ao final do período de coleta (29 DAS), sendo, respectivamente, 145,4 e 50% maiores do que o tratamento controle.

Figura 37 – Matéria fresca (A) e seca (B) das raízes de plântulas de girassol, submetidas a diferentes concentrações de biofertilizante bovino como fonte de N-total aos 29 DAS após a semeadura. As barras representam os valores das médias de 5 repetições. Valores seguidos por letras distintas representam diferenças estatísticas entre os tratamentos de acordo com teste de Tukey ($P \leq 0{,}05$).

(a) Matéria fresca (b) Matéria seca



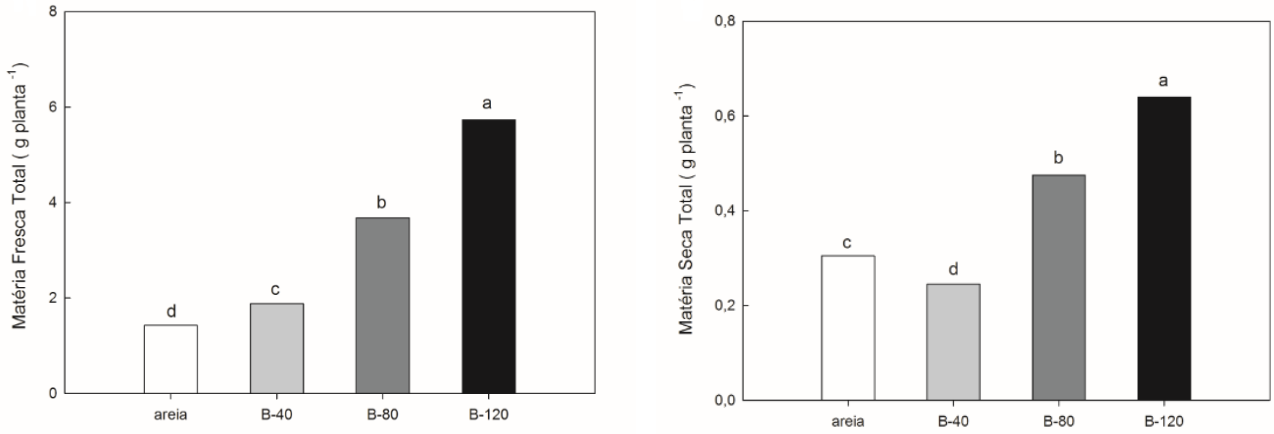
Fonte: Autor (2017).

Em um estudo realizado por Oliveira et al. (2009), numa avaliação entre a matéria seca da raiz e matéria seca da parte aérea, os autores verificaram que as doses de esterco bovino afetaram positivamente as plantas de mamoneira semelhantemente ao encontrado nesse trabalho, principalmente nos tratamentos com maiores concentrações em relação ao controle. Albuquerque et al. (2013), ressaltaram que o acúmulo de massa seca é de grande importância para se detectar o crescimento de plantas.

Para a produção de matérias frescas (MFT) (Figura 38a) e secas totais (MST) (Figura 38b), os valores obtidos demonstraram maiores incrementos nos tratamento com maiores concentrações de biofertilizante, as plantas que receberam 80 e 120 kg N ha^{-1}. Ao final do período de análise (29 DAS), as diferenças dos tratamentos 80 e 120 kg N ha^{-1} em relação ao controle (ausência de biofertilizante) foram de 251,5 e 424,7% para MFT e de 68 e 116% para MST, respectivamente.

Figura 38 – Matéria fresca (A) e seca (B) totais aos 29 dias após semeadura de plântulas de girassol submetidas a diferentes concentrações de biofertilizante bovino. As barras representam os valores das médias de 5 repetições. Valores seguidos por letras distintas representam diferenças estatísticas entre os tratamentos de acordo com teste de Tukey ($P \leq 0{,}05$).

(a) Matéria fresca (b) Matéria seca



Fonte: Autor (2017).

Resultado semelhante foi encontrado por Roel et al. (2007) na avaliação da utilização de fertilizantes orgânicos na produção de alface, em que foi observada diferença significativa na massa seca das plantas, entre a testemunha e os tratamentos avaliados com composto orgânico à base de palhada de soja, feijão e milho, acrescidos de esterco de galinha. Mesquita et al. (2010) observaram nos estudos com plantas de maracujazeiro amarelo após 65 DAS, valores significativo para MST na presença do biofertilizante bovino quando comparado à ausência do insumo orgânico.

O grande progresso alcançado através dos avanços tecnológicos e científicos, o desenvolvimento da atividade agrícola passar por alguns problemas, dentre eles os altos valores com fertilizantes comerciais. Diante desta problemática a busca por alternativas ganha uma atenção especial. Uma prática que vem crescendo na agricultura é o uso de biofertilizantes líquidos, que vem apresentando resultados satisfatórios na nutrição de plantas Nesse contexto, os biofertilizantes surgiram como uma importante alternativa para nutrição de plantas, a fim de aumentar o rendimento das culturas (WU et al., 2005).

De acordo com Medeiros et al. (2008), outra vantagem do uso do biofertilizante é que ele pode ser produzido pelo próprio agricultor, o que gera economia de insumos importados e melhora o saneamento ambiental.

Avaliações experimentais indicam que a produção máxima de girassol é alcançada com 80 a 90 kg ha^{-1} de N, contudo, com aplicação de 40 a 50 kg ha^{-1} de N se obtém 90% da produção relativa máxima, correspondendo à quantidade do nutriente economicamente

mais eficiente Smiderle, Gianluppi e Gianluppi (2002). Verificou-se na presente pesquisa maiores valores nas variáveis analisadas no tratamento de 120 kg ha^{-1} N. Assim, sugere-se ser possível a aplicação de concentrações mais elevadas de biofertilizante como fonte nutricional. No entanto, a presente pesquisa analisou apenas o crescimento inicial das plantas de girassol, sendo, portanto, necessários estudos adicionais visando a produção.

Conhecendo o cenário e a problemática que envolve o lançamento inadequado dos resíduos agropecuários diretamente ao solo ou meios hídricos, esse estudo se propôs a estudar a eficiência do processo de biodigestão anaeróbia destas matrizes resíduais, tendo como principais contribuições os estudos voltados para o aperfeiçoamento e otimização do processo de biodigestão através do monitoramento dos seus principais parâmetros por meio de um sistema de quisição de dados de baixo custo, bem como o estudo da viabilidade do uso do biofertilizante produzido como fonte de nutrientes no cultivo do girassol, contribuindo de forma significativa para a consolidação dessa tecnologia.

5 Conclusões

Perante o exposto, concluiu-se que o sistema apresentou comportamento adequado no que se refere aos objetivos traçados no estudo, pois esse monitoramento contínuo pôde-se ter conhecimentos diretos e momentâneos do processo. O *hardware* apresentou comportamento eficaz no que se diz respeito à aquisição de dados dos sensores e restauração das funções normais mesmo diante de quedas de energia.

Baseado nos estudos realizados nesse trabalho é possível o aproveitamento e a utilização do biofertilizante no cultivo de plantas de girassol, pois ao se analisar a eficiência das variadas concentrações de biofertilizantes produzido no crescimento das plântulas de girassol, verificou-se incrementos em todos as variáveis analisadas em relação ao controle (ausência de biofertilizante), especialmente no tratamento de 120 kg N ha^{-1}. Diante disso, pode-se afirmar que nas condições experimentais empregadas,o biofertilizante produzido pode ser uma alternativa de substituição do fertilizante inorgânico. Outro ponto positivo é o seu custo beneficio em relação aos adubos comerciais, uma vez que pode ser produzido facilmente por um processo de fermentação anaeróbia ou aeróbia dos dejetos em biodigestores.

Em suma, os estudos comproraram que o processo de biodigestão anaeróbia é uma excelente forma de tratamento da biomassa orgânica, podendo ser utilizado em inúmeros tratamentos de resíduos, tais como: agroindustriais, esgoto doméstico, saneamento básico, e em especial nos tratamentos de desejos animais foco principal deste trabalho. E assim como todo trabalho de pesquisa, este não pretendia ser totalmente conclusivo, e sim abrir caminhos para que novas pesquisas fossem realizadas, permitindo o maior conhecimento a cerca da biodigestão anaeróbia de resíduos suínos e bovinos, além do uso do biofertilizante no cultivo do girassol.

5.1 Trabalhos futuros

Como trabalhos futuros sugerem-se:

- Aprimorar o sistema de aquisição de dados, visando deixar autossuficiente energeticamente por meio de baterias para não haver perda de dados em caso de queda na rede elétrica;
- Aperfeiçoar a produção de biogás através de um sistema de controle para o reator;
- Estudar novas frações de misturas para os desejos suínos e bovinos, mediante a caracterização da biomassa incial;

- Produzir novos biofertilizantes mediante biodigestão anaeróbia de outros resíduos, testando no cultura do girassol, visando análises de crescimento;
- Aplicar o biofertilizante produzido em outras culturas, tais como: milho, trigo, mamona e verificar ao final o rendimento das culturas.

Referências

ACOSTA, J. F. **Consumo hídrico da cultura do girassol irrigada na região da Chapada do Apodi - RN**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) — Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2009.

AL-MASRI, M. R. Changes in biogas production due to different ratios of some animal and agricultural wastes. **Bioresource Technology**, Elsevier BV, v. 77, n. 1, p. 97–100, mar. 2001. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/S0960-8524(00)00117-6>.

ALBUQUERQUE, F. A.; CASTRO, N. H. A. D.; ESBERARD, N.; BELTRÃO, A. M. A. D. M.; LUCENA, S. L. D. D. Análise de crescimento inicial do *Jatropha curcas* em condições de sequeiro. **Revista Brasileira de oleaginosas e fibrosas**, v. 13, n. 3, 2013.

AMARAL, C. M. C.; AMARAL, L. A.; JÚNIOR, J. L.; NASCIMENTO, A. A.; FERREIRA, D. S.; MACHADO, M. R. F. Biodigestão anaeróbia de dejetos de bovinos leiteiros submetidos a diferentes tempos de retenção hidráulica. **Revista Ciência Rural**, SciELO, Brasil, v. 34, n. 6, p. 1897–1902, 2004. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782004000600035>.

ANDRADE, M. A. N.; RANZI, T. J. D.; MUNIZ, R. N.; SILVA, L. G. S.; ELIAS, M. J. Biodigestores rurais no contexto da atual crise de energia elétrica brasileira e na perspectiva da sustentabilidade ambiental. In: **4º Encontro de Energia no Meio Rural - Agrener**. Brasil: SciELO, 2002.

ANGONESE, A. R.; CAMPOS, T. A.; ZACARKIM, C. E.; MATSUO, S. M.; CUNHA, F. Eficiência energética de sistema de produção de suínos com tratamento dos resíduos em biodigestor. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, SciELO Brasil, v. 10, n. 3, p. 745–750, 2006.

ARRUDA, M. H.; AMARAL, L. D. P.; PIRES, O. P.; BARUFI, C. R. Dimensionamento de biodigestor para geração de energia alternativa. **Revista científica de agronomia da Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal**, v. 1, n. 2, p. 8, 2002.

BAERE, d. L.; MEENEN, P. V.; DEBOOSERE, S.; VERSTRAETE, W. Aneerobic fermentation of refuse. **Resources and Conservation**, Elsevier BV, v. 14, p. 295–308, mar. 1987. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/0166-3097(87)90030-7>.

BARBOSA, P. T.; MOURA, L. F.; BERTINI, L. M.; MAIA, F. F. Construção de protótipo de biodigestor modelo indiano: Uma alternativa para estudos em escala de laboratório. In: **VII CONNEPI - Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação**. Palmas - TO: IFTO, 2012.

BARBOZA, R. S. L.; MESSIAS, A. S.; ARMINDA, S.; FIGUEIREDO, M. V. B.; LIMA, V. N.; REIS, O. V. Evaluation of potential sewage sludge usage associated to the strain inoculation from bradyrhizobium spp. in cowpea. **Global Journal of Management And Business Research**, v. 10, n. 3, 2010.

BARNERT, T.; PIESIK, E.; ŚLIWIŃSKI, M. Real-time simulator of agricultural biogas plant. **Computers and electronics in agriculture**, Elsevier, v. 108, p. 1–11, 2014.

BARREIRA, P. **Biodigestores: Energia, Fertilidade e Saneamento Para a Zona Rural**. 3. ed. São Paulo: Ícone, 2011. 24 p. ISBN 8527402351. Disponível em: <https://www.amazon.com/Biodigestores-Energia-Fertilidade-Saneamento-Rural/dp/8527402351%3FSubscriptionId%3D0JYN1NVW651KCA56C102%26tag%3Dtechkie-20%26linkCode%3Dxm2%26camp%3D2025%26creative%3D165953%26creativeASIN%3D8527402351>.

BHAT, P. R.; CHANAKYA, H. N.; RAVINDRANATH, N. H. Biogas plant dissemination: success story of sirsi, India. **Energy for Sustainable Development**, Elsevier BV, v. 5, n. 1, p. 39–46, mar. 2001. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/S0973-0826(09)60019-3>.

BISCHOFSBERGER, W.; DICHTL, N.; ROSENWINKEL, K. H.; SEYFRIED, C. F.; BOHNKE, B. **Anaerobtechnik**. 2. ed. Berlim: Springer Science + Business Media, 2005. 718 p. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/b137857>.

BRAMBILLA, M.; ARALDI, F.; MARCHESI, M.; BERTAZZONI, B.; ZAGNI, M.; NAVAROTTO, P. Monitoring of the startup phase of one continuous anaerobic digester at pilot scale level. **Biomass and bioenergy**, Elsevier, v. 36, p. 439–446, 2012.

BRASIL. Lei 12.305. **Constituição Federal do Brasil**, Ago. 2010.

_____. Instituto brasileiro de geografia e estatística. **Indicadores IBGE/IPARDES – Censo Agropecuário**, Brasília - DF, 2014.

BRIGHENTI, A. M. Resistência do girassol a herbicidas inibidores da enzima acetolactato sintase. **Pesquisa Agropecuária Tropical (Agricultural Research in the Tropics)**, v. 42, n. 2, p. 10–1590, 2012.

BRUMMELER, E.; KOSTER, I. W. Enhancement of dry anaerobic batch digestion of the organic fraction of municipal solid waste by an aerobic pretreatment step. **Biological Wastes**, Elsevier BV, v. 31, n. 3, p. 199–210, jan. 1990. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/0269-7483(90)90159-P>.

CARNEIRO, P.; FERREIRA, P. The economic, environmental and strategic value of biomass. **Renewable Energy**, v. 44, p. 17–22, 2012. ISSN 0960-1481. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148112000080>.

CARRÃO-PANIZZI, M. C.; MANDARINO, J. M. G. **Girassol: derivados protéicos**. Londrina: Embrapa - CNPSO, 1994.

CASTIGLIONI, V. B. R.; BALLA, A.; CASTRO, C.; SILVEIRA, J. M. Fases de desenvolvimento da planta de girassol. **EMBRAPA - CNPSO**, Londrina, 1994.

_____. **Fases de desenvolvimento da planta de girassol**. Londrina: EMBRAPA - CNPSO, 1997.

CECCHI, F.; BATTISTONI, P.; PAVAN, P.; BOLZONELLA, D.; INNOCENTI, L. Digestione anaerobica della frazione organica dei rifiuti solidi. **APAT, Manuali e linee guida**, v. 13, 2005.

CETESB. Relatório de estabelecimento de valores orientadores para solos e águas subterrâneas no estado de São Paulo, **Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental**. São Paulo: Diário Oficial Poder Executivo - Seção I, 2014. 53 p.

CHEN, L.; ZHAO, L. N.; REN, C. The progress and prospects of rural biogas production in China. **Energy Policy**, Elsevier BV, v. 51, p. 58–63, dec. 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2012.05.052>.

CHEN, Y.; YANG, G.; SWEENEY, S.; FENG, Y. Household biogas use in rural China: A study of opportunities and constraints. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Elsevier BV, v. 14, n. 1, p. 545–549, jan. 2010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2009.07.019>.

CHERNICHARO, C. Reatores anaeróbios-princípios do tratamento biológico de águas residuárias, 2da ed., vol. 5. **Belo Horizonte, Brasil: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais**, 2007.

CHICONATO, D. A.; SIMONI, F. D.; GALBIATTI, J. A.; FRANCO, C. F.; CARAMELO, A. D. Resposta da alface à aplicação de biofertilizante sob dois níveis de irrigação. **Bioscience Journal**, p. 392–399, 2013.

COELHO, F. S.; FONTES, P. C. R.; PUIATTI, M.; NEVES, J. C. L.; SILVA, M. C. C. Dose de nitrogênio associada à produtividade de batata e índices do estado de nitrogênio na folha. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 4, p. 1175–1184, 2010.

COLDEBELLA, A.; SOUZA, S. N. M.; SOUZA, J.; KOHELER, A. C. Viabilidade da cogeração de energia elétrica com biogás da bonivocultura de leite. **Encontro de Energia no Meio Rural**, SCiELO Brasil, 2006. Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022006000200053&script=sci_arttext&tlng=pt>.

COSTA, D. F.; FERLING, F. F.; NOGUEIRA, F. G. Trabalho de Graduação Interdisciplinar para Conclusão de Curso, **Produção de energia elétrica a partir de resíduos sólidos urbanos**. São Paulo: Faculdade de Engenharia FAAP, 2001.

DAI, K.; BERGOT, A.; LIANG, C.; XIANG, W.-N.; HUANG, Z. Environmental issues associated with wind energy – a review. **Renewable Energy**, Elsevier, v. 75, p. 911–921, 2015. ISSN 0960-1481. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148114007149>.

DEGANUTTI, R.; PALHACI, M. C. J. P.; ROSSI, M.; TAVARES, R.; SANTOS, C. Biodigestores rurais: modelo indiano, chinês e batelada. In: **Encontro de Energia no Meio Rural**. Bauru - SP: SciELO, 2002. p. 5.

DIAS, T. J.; CAVALCANTE, L. F.; LEON, M. J.; SANTOS, G. P.; ALBUQUERQUE, R. P. de F. Produção do maracujazeiro e resistência mecânica do solo com biofertilizante sob irrigação com águas salinas. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 3, p. 644–651, 2011.

DICKMANN, L.; CARVALHO, M. A. C. d.; BRAGA, L. F.; SOUSA, M. P. Comportamento de sementes de girassol (*Helianthus annuus L.*) submetidas a estresse salino. **Revista de Ciências Agro - Ambientais**, v. 3, n. 1, p. 65–75, 2005.

DINIZ, A. A.; CAVALCANTE, L. F.; REBEQUI, A. M.; NUNES, J. C.; BREHM, M. A. da S. Esterco líquido bovino e ureia no crescimento e produção de biomassa do maracujazeiro amarelo. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 3, p. 597–604, 2011.

DINUCCIO, E.; BALSARI, P.; GIOELLI, F.; MENARDO, S. Evaluation of the biogas productivity potential of some italian agro - industrial biomasses. **Bioresource Technology**, Elsevier BV, v. 101, n. 10, p. 3780–3783, may. 2010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2009.12.113>.

DU, H.; LI, N.; BROWN, M. A.; PENG, Y.; SHUAI, Y. A bibliographic analysis of recent solar energy literatures: The expansion and evolution of a research field. **Renewable Energy**, v. 66, p. 696–706, 2014. ISSN 0960-1481. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148114000470>.

DUTRA, C. C.; PRADO, E. A. F. do; PAIM, L. R.; SCALON, S. d. P. Q. Desenvolvimento de plantas de girassol sob diferentes condições de fornecimento de água development of sunflower plants under different conditions of water supply. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, n. 1, p. 2657–2668, 2012.

ELECTRONICS, H. **TECHNICAL DATA MQ-4 GAS SENSOR**. HANWEI ELECTRONICS, 2002. Disponível em: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Biometric/MQ-4.pdf>.

EVANS, G. G.; FURLONG, J. C. **Environmental Biotechnology: Theory and Application**. Reino Unido: John Wiley & Sons, Ltd. West Sussex, 2011. Disponível em: <https://www.amazon.com/Environmental-Biotechnology-Application-Gareth-Evans-ebook/dp/B005CCT21E%3FSubscriptionId%3D0JYN1NVW651KCA56C102%26tag%3Dtechkie-20%26linkCode%3Dxm2%26camp%3D2025%26creative%3D165953%26creativeASIN%3DB005CCT21E>.

FAO. Food and agriculture organization of united nations. **Perspectivas de colheitas e Situação Alimentar**, 2009.

FERREIRA, D. F. Sisvar - sistema de análise de variância. **Versão 5.4**, Lavras - MG, 2010.

FERREIRA, T. C.; SOUZA, T.; ARAUJO, E.; SILVA, K.; OLIVEIRA, S.; CARLOS, G. 11253 - acúmulo de fitomassa seca em girassol (*Helianthus annus L.*) fertirrigado com urina de vaca e manipueira. **Cadernos de Agroecologia**, v. 6, n. 2, 2011.

FIGUEIREDO, P. G.; TANAMATI, F. Y. Adubação orgânica e contaminação ambiental. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 5, n. 3, p. 01–04, 2010.

FIGUEREDO, L. F. **Desempenho agronômico do amendoim cv. BR1 submetido a fontes de doses de biofertilizante**. Dissertação (Programa de Pós–Graduação em Ciências Agrárias) — Universidade Estadual da Paraíba, 2012. Disponível em: <http://pos-graduacao.uepb.edu.br/ppgca/download/outros_documentos/DISSERTA%C3%87%C3%83O%20-%20LUCIMARA%20FERREIRA%20DE%20FIGUEIREDO%20-%202012.pdf>.

FULFORD, D. Biogas technology – successful projects in asia and africa. In: **Anaerobic digestion workshop - Rural Research and Strategy Partnership**. Reino Unido: Kingdom Bioenergy, 2009.

GABOS, M. B.; CASAGRANDE, G.; ABREU, C. A.; PAZ-FERREIRO, J. Uso da matéria orgânica como mitigadora de solo multicontaminado e do girassol como fitoextratora. **Revista Brasileira de Engenharia Agricola e Ambiental-Agriambi**, v. 15, n. 12, 2011.

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**. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas) — Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003. Disponível em: <http://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/85585>.

GENTIL, R. M.; SERRA, J. C. V.; CASTRO, R. B. de. Resíduos sólidos orgânicos provenientes da extração de oleaginosas para biodiesel e seus potenciais de uso. **Geoambiente On-line**, n. 18, p. 01–16, 2012.

GERBENS-LEENES, P. W.; HOEKSTRA, A. Y.; MEER, T. V. D. The water footprint of energy from biomass: A quantitative assessment and consequences of an increasing share of bio-energy in energy supply. **Ecological Economics**, Elsevier BV, v. 68, n. 4, p. 1052–1060, feb. 2009. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.07.013>.

GÓMEZ, C. R. B.; PLATA, G. O.; HERNÁNDEZ, M. A. D.; SUÁREZ, J. H. R. Instrumentation of an animal manure biodigester to analyze its dynamic behavior. In: IEEE. **ANDESCON, 2010 IEEE**. [S.l.], 2010. p. 1–6.

HE, P. Anaerobic digestion: An intriguing long history in China. **Waste Management In Press**, Elsevier BV, v. 30, n. 4, p. 549–550, apr. 2010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2010.01.002>.

IZUMI, K.; OKISHIO, Y.; NORIO, N.; CHIAKI, N.; SHUICHI, Y.; TATSUKI, T. Effects of particle size on anaerobic digestion of food waste. **International Biodeterioration & Biodegradation**, Elsevier BV, v. 64, n. 7, p. 601–608, oct. 2010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ibiod.2010.06.013>.

JUANGA, J. P. **Optimizing dry anaerobic digestion of organic fraction of municipal solid waste**. Dissertação (Mestrado) — Asian Institute of Technology, 2005. Disponível em: <http://faculty.ait.ac.th/visu/public/uploads/images/pdf/2005/JeangerPJuanga.pdf>.

KANA, E. G.; SCHMIDT, S.; KENFACK, R. A. A web-enabled software for real-time biogas fermentation monitoring–assessment of dark fermentations for correlations between medium conductivity and biohydrogen evolution. **International Journal of Hydrogen Energy**, Elsevier, v. 38, n. 25, p. 10235–10244, 2013.

KARADOĞAN, T.; AKGÜN, İ.; ALTINDAL, N. Effect of leaf removal on sunflower yield and yield components and some quality characters. **Turk. J. Field Crops**, v. 14, n. 2, p. 45–54, 2009.

KUMAR, B. S.; VENKATESWARLU, C. Estimating biofilm reaction kinetics using hybrid mechanistic-neural network rate function model. **Bioresource technology**, Elsevier, v. 103, n. 1, p. 300–308, 2012.

KUNZ, A.; HIGARASHI, M. M.; OLIVEIRA, P. A. Tecnologias de manejo e tratamento de dejetos de suínos estudadas no Brasil. **Embrapa: Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 22, n. 1, p. 651–665, 2005.

KUNZ, A.; PERDOMO, C. C.; OLIVEIRA, P. A. V. Biodigestores: avanços e retrocessos. **Suinocultura Industrial, São Paulo**, v. 26, n. 4, p. 14–16, 2004.

LEITE, V. D.; LOPES, W. S.; SOUSA, J. T. d.; PRASAD, S. Tratamento anaeróbio de resíduos orgânicos com baixa concentração de sólidos. **Eng. sanit. ambient**, v. 9, n. 4, p. 280–284, 2004.

LI, K.; HO, M. W. Biogas na China. **ISIS Report**, 2006.

LIMA, J. G. A.; VIANA, T. V. de A.; SOUSA, G. G.; WANDERLEY, J. A. C.; NETO, L. G. P.; AZEVEDO, B. M. Crescimento inicial do milho fertirrigado com biofertilizante. **AgropecuÁRia CientÍFica No SemiÁRido**, v. 8, n. 1, p. 39–44, 2012.

LINDEMEYER, R. M. Relatório de Estágio Supervisionado para Graduação em Administração, **Análise da viabilidade econômico-financeira do uso do biogás como fonte de energia elétrica**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2008.

LIRA, M. A.; CARVALHO, H. W. L.; CHAGAS, M. C. M.; DANTAS, J. A.; BRISTOT, G.; LIMA, J. M. P. Avaliação das potencialidades da cultura do girassol, como alternativa de cultivo no semiárido nordestino. **EMPARN**, Natal - RN, 2011.

LIRA, M. A.; CHAGAS, M. C. M.; BRISTOT, G.; DANTAS, J. A.; HOLANDA, J. S.; LIMA, J. M. P. **Recomendações técnicas para o cultivo do girassol**. 2. ed. Natal - RN, 2007.

LLC, A. S. **Technical Data pH Probe**. Atlas Scientific LLC, 2015. Disponível em: <http://www.atlas-scientific.com/_files/_datasheets/_probe/pH_probe.pdf>.

LOBO, T. F.; FILHO, H. G.; BRITO, I. C. A. Efeito do nitrogênio na nutrição do girassol = effect of nitrogen nutrition in sunflower. **Bioscience Journal**, v. 27, n. 3, 2011.

LOBO, T. F.; FILHO, H. G.; BÜLL, L. T.; KUMMER, A. C. Efeito do lodo de esgoto e do nitrogênio nos fatores produtivos do girassol. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, p. 504–509, 2013.

LÓPEZ, M.; MARTINEZ-FARRE, X.; CASAS, O.; QUILEZ, M.; POLO, J.; LOPEZ, O.; HORNERO, G.; PINILLA, M. R.; ROVIRA, C.; RAMOS, P. M. et al. Intelligent composting assisted by a wireless sensing network. **Waste management**, Elsevier, v. 34, n. 4, p. 738–746, 2014.

MAGHANAKI, M.; GHOBADIAN, B.; NAJAFI, G.; GALOGAH, R. J. Potential of biogas production in Iran. **Bioresource Technology**, Elsevier BV, v. 101, p. 1153–1158, dec. 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.021>.

MALAVOLTA, E. **ABC da adubação**. 5. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1970. 292 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliaçao do estado nutricional das plantas, princípios e aplicaçoes,**. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319 p.

MATA-ALVAREZ, J. **Biomethanization of the Organic Fraction of Municipal Solid Wastes**. IWA Publishing, 2003. ISBN 1900222140. Disponível em: <https://www.amazon.com/Biomethanization-Organic-Fraction-Municipal-Wastes/dp/1900222140%3FSubscriptionId%3D0JYN1NVW651KCA56C102%26tag%3Dtechkie-20%26linkCode%3Dxm2%26camp%3D2025%26creative%3D165953%26creativeASIN%3D1900222140>.

MC-CARTY, P. L.; MOSEY, F. E. Modelling of anaerobic digestion processes (a discussion of concepts). **Water Science end Tecnology**, v. 24, p. 17–33, 1991.

MEDEIROS, D. d.; FREITAS, K. d. S.; VERAS, F. d. S.; ANJOS, R. d.; BORGES, R.; NETO, J. C.; NUNES, G. d. S.; FERREIRA, H. Qualidade de mudas de alface em função de substratos com e sem biofertilizante. **Horticultura Brasileira**, v. 26, n. 2, p. 186–189, 2008.

MELÉM JUNIOR, N. J.; BRITO, O. R.; JUNIOR, N. da S. F.; FONSECA, I. C. de B.; AGUIAR, S. X. de. Mineral nutrition and production of beans in areas managed with and without burning of organic residues and different fertilization types. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 32, n. 1, p. 7–18, 2011.

MESQUITA, F. d. O.; CAVALCANTE, L. F.; REBEQUI, A. M.; NETO, A. J. de L.; NUNES, J. C.; NASCIMENTO, J. A. M. do. Produção de mudas de maracujazeiro amarelo em substrato com biofertilizante bovino irrigado com águas salinas. **Agropecuária Técnica**, v. 31, n. 2, p. 134–142, 2010.

MONK, S. **Raspberry Pi Cookbook**. USA: O'Reilly Media, 2014. ISBN 1449365221. Disponível em: <https://www.amazon.com/Raspberry-Pi-Cookbook-Simon-Monk/dp/1449365221%3FSubscriptionId%3D0JYN1NVW651KCA56C102%26tag%3Dtechkie-20%26linkCode%3Dxm2%26camp%3D2025%26creative%3D165953%26creativeASIN%3D1449365221>.

MONK, S.; ZANOLLI, R. **Programando O Raspberry Pi: Primeiros Passos Com Python**. NOVATEC, 2013. ISBN 9788575223574. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=4VtzmwEACAAJ>.

NEILL, S. P.; HASHEMI, M. R.; LEWIS, M. J. Tidal energy leasing and tidal phasing. **Renewable Energy**, v. 85, p. 580–587, 2016. ISSN 0960-1481. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148115301130>.

NES, W. J. V. Asia hits the gas: Biogas from anaerobic digestion rolls out across asia. **Renewable Energy World**, v. 9, n. 1, p. 102–111, 2006.

NETO, E. A. T. **Biofertilizantes: Caracterização Química, Qualidade Sanitária e Eficiência em Diferentes Concentrações na Cultura da Alface**. Dissertação (Pós-Graduação em Ciência do Solo) — Universidade Federal do Paraná, 2006. Disponível em: <http://www.iapar.br/arquivos/File/zip_pdf/biofert_neto_darolt06.pdf>.

NOGUEIRA, L. A. H. **Biodigestão: a alternativa energética**. São Paulo - SP: Nobel, 1986. 135 p.

OLIVEIRA, A. P.; ARAÚJO, J. S.; ALVES, E. U.; NORONHA, M. A. S.; CASSIMIRO, C. M.; MENDONÇA, F. G. Rendimento de feijão-caupi cultivado com esterco bovino e adubo mineral. **Horticultura Brasileira**, SciELO Brasil, v. 19, n. 1, p. 84–85, 2001.

OLIVEIRA, F. de Assis de; Oliveira Filho, A. F. de; MEDEIROS, J. F. de; Almeida Júnior, A. B. de; LINHARES, P. C. F. Desenvolvimento inicial da mamoneira sob diferentes fontes e doses de matéria orgânica. **Revista Caatinga**, v. 22, n. 1, 2009.

OLIVER, A. P. M.; NETO, A. A. S.; QUADROS, D. G.; VALLADARES, R. E. **Manual de treinamento em biodigestão**. 2. ed. Brasil, 2008.

OSAKI, M.; BATALHA, M. O. Produção de biodiesel e óleo vegetal no brasil: Realidade e desafio. **Organizações Rurais & Agroindustriais**, Universidade Federal de Lavras, v. 13, n. 2, 2011.

PAIVA, A. O.; MOREIRA, R. d. O. Raspberry pi: dispositivo de 35 dólares para visualização de imagens dicom. **Radiol Bras**, v. 47, p. 99–100, 2014.

PALMA, C. F. Characterisation, kinetics and modelling of gasification of poultry manure and litter: An overview. **Energy Conversion and Management**, Elsevier BV, v. 53, n. 1, p. 92–98, jan. 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2011.08.017>.

PENTEADO, S. R. **Adubação orgânica: compostos orgânicos e biofertizantes**. Campinas: Ed. do autor, 2007.

PEREIRA, R. F.; CAVALCANTE, S. N.; LIMA, A. S. de; FILHO, F. d. C. F. M.; SANTOS, J. G. R. dos. Crescimento e rendimento de feijão vigna submetido à adubação orgânica. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 8, n. 3, p. 91–96, 2013.

PEREIRA, T. de A.; SOUTO, L. S.; SÁ, F. V. da S.; PAIVA, E. P. de; SOUZA, D. L. de; SILVA, V. N. da; SOUZA, F. M. de. Esterco ovino como fonte orgânica alternativa para o cultivo do girassol no semiárido. **AGROPECUÁRIA CIENTÍFICA NO SEMIÁRIDO**, v. 10, n. 1, p. 59–64, 2014.

POHLMANN, M. **Levantamento de técnicas de manejo de resíduos da bovinocultura leiteira no estado de São Paulo**. Tese (Doutorado) — Universidade Estadual de Campinas, 2000.

PRIMO, D. C.; ALTHOFF, T. D.; DUTRA, E. D.; MARTINS, J. C. R.; MENEZES, R. S. C. Crescimento inicial e teor de nitrogênio em plantas de algodão adubadas com esterco e composto orgânico. In: **Congresso Brasileiro de Mamona**. João Pessoa - PB: Simpósio Internacional de Oleaginosas Energéticas, 2010. p. 01–04.

PRODUCTS, M. I. **DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer**. 2008.

QUADROS, D. G.; VALLADARES, R.; REGIS, U.; OLIVER, A.; SANTOS, L. S.; ANDRADE, A. P.; FERREIRA, E. J.; BAHIA, E. da; CAMPUS, I. X. Biodigestão anaeróbica de dejetos da caprino-ovinocultura para produção de biogás e biofertilizante no semi-arido: 1. produção e composição de biogás. In: **Congresso Internacional de Agroenergia e Biocombustiveis**. Teresina: Embrapa Meio Norte, 2007.

RESOLUTION, D. P. **DS18B20: Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer**. Maxim Integrated Products, 2015. Disponível em: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>.

RICHARDSON, M.; WALLACE, S. **Getting started with raspberry PI**. California: O'Reilly Media, Inc, 2012.

ROEL, A. R.; LEONEL, L. A. K.; FAVARO, S. P.; ZATARIM, M.; MOMESSO, C. M. V.; SOARES, M. V. Avaliação de fertilizantes orgânicos na produção de alface em campo grande, ms. **Scientia Agraria**, v. 8, n. 3, p. 325–329, 2007.

ROSSOL, C. D.; FILHO, H. S.; BERTÉ, L. N.; JANDREY, P. E.; SCHWANTES, D.; JÚNIOR, A. C. G. Caracterização, classificação e destinação de resíduos da agricultura. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 11, p. 33–43, 2012.

RUTTENS, A.; BOULET, J.; WEYENS, N.; SMEETS, K.; ADRIAENSEN, K.; MEERS, E.; SLYCKEN, S. V.; TACK, F.; MEIRESONNE, L.; THEWYS, T. et al. Short rotation coppice culture of willows and poplars as energy crops on metal contaminated agricultural soils. **International journal of phytoremediation**, Taylor & Francis, v. 13, n. sup1, p. 194–207, 2011.

SAKAR, S.; YETILMEZSOY, K.; KOCAK, E. Anaerobic digestion technology in poultry and livestock waste treatment - a literature review. **Waste Management & Research**, SAGE Publications, v. 27, n. 1, p. 03–18, feb. 2009. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1177/0734242X07079060>.

SANTI, L. **Valutazione della potenzialità produttiva in termini di biogas di alcune biomasse di origine agro-zootecnica**. Tese (Tesi di laurea) — Università di Torino, 2008.

SANTI, L. **Influência da adição de enzimas e microrganismos sobre a digestão anaeróbia de dejetos bovinos e suínos.** Dissertação (Mestrado) — Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2013. Disponível em: <http://repositorio.unesp.br/handle/11449/96514>.

SANTOS, A. C. V. d. Efeitos nutricionais e fitossanitários do biofertilizante líquido a nível de campo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 13, n. 4, p. 275–279, 1991.

SANTOS, C. C.; VIEIRA, M. do C.; ABRÃO, M. S.; SCALON, S. d. P. Q.; FERNANDES, J. S.; ZARATE, N. A. H. Crescimento inicial e teores de clorofila de capuchinha em função de doses de cama de frango. **Cadernos de Agroecologia**, v. 9, n. 4, 2015.

SAYED, S.; ZANDEN, V. D. J.; RENÉ, W.; GATZE, L. Anaerobic degradation of the various fractions of slaughterhouse wastewater. **Biological Wastes**, Elsevier BV, v. 23, n. 2, p. 117–142, jan. 1988. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/0269-7483(88)90069-9>.

SENSORTEC, B. **BMP180: Digital pressure sensor**. Bosch Sensortec GmbH, 2013. Disponível em: <https://ae-bst.resource.bosch.com/media/_tech/media/datasheets/BST-BMP180-DS000-121.pdf>.

SILVA, A. R. A. da; BEZERRA, F. M.; LACERDA, C. F. de; FILHO, J. V.; FREITAS, C. A. de. Gas exchange in sunflower plants subjected to water deficit at different stages of growth. **Revista Ciência Agronômica**, Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, v. 44, n. 1, p. 86, 2013.

SILVA, F. F. M. Monografia de conclusão do curso de Química, **Implantação de um Biodigestor na Fazenda Jatobá para Produção de Biogás a Partir de Esterco Bovino**. 2009. 75 p.

SILVA, F. F. M. da; BERTINI, L. M.; ALVES, L. A.; BARBOSA, P. T.; MOURA, L. F.; MACÊDO, C. S. Implicações e possibilidades para o ensino a partir da construção de biodigestor no IFRN - campus Apodi. **HOLOS**, v. 6, p. 315–327, 2015.

SILVA, H. P. da; JUNIOR, D. d. S. B.; SAMPAIO, R. A.; DUARTE, R. F.; NEVES, J. M. G.; AQUINO, C. F. Momento ideal para a colheita do girassol em função da coloração do dorso dos capítulos. **Revista Agrarian**, UFGD, 2009.

SILVA, P. C. C.; COUTO, J. L.; SANTOS, A. R. d. S. Efeito dos íons amônio e nitrato no desenvolvimento do girassol em solução nutritiva. **Revista da FZVA**, v. 17, n. 1, 2010.

SMIDERLE, O. J.; GIANLUPPI, D.; GIANLUPPI, V. Adubação nitrogenada, espaçamento e época de semeadura de girassol nos cerrados de roraima. **Embrapa Soja**, Londrina, p. 33–39, 2002.

SOUZA, K. C. G. **Modelo de simulação para análise da viabilidade de geração de energia a partir da utilização de biodigestores**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) — Universidade federal do Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2010. Disponível em: <http://repositorio.cbc.ufms.br:8080/jspui/handle/123456789/648>.

SREEKRISHNAN, T.; KOHLI, S.; RANA, V. Enhancement of biogas production from solid substrates using different techniques: a review. **Bioresource technology**, Elsevier, v. 95, n. 1, p. 1–10, 2004.

STROJAKI, T. V.; SILVA, V. Rodrigues da; SOMAVILLA, A.; ROS, C. O. D.; MORAES, M. Tuzzin de. Atributos químicos do solo e produtividade de girassol e milho em função da aplicação de composto de lixo urbano. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, v. 43, n. 3, 2013.

TEMPLETON, J. D.; HASSANI, F.; GHOREISHI-MADISEH, S. A. Study of effective solar energy storage using a double pipe geothermal heat exchanger. **Renewable Energy**, v. 86, p. 173–181, 2016. ISSN 0960-1481. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096014811530224X>.

THORBURN, K.; LEIJON, M. Case study of upgrading potential for a small hydro power station. **Renewable Energy**, v. 30, n. 7, p. 1091–1099, 2005. ISSN 0960-1481. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148104003374>.

TRAVASSOS, K. D.; SOARES, F. A.; GHEYI, H. R.; SILVA, D. R.; NASCIMENTO, A. d.; DIAS, N. d. S. Produção de aquênio do girassol irrigado com água salobra. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 4, p. 371–376, 2011.

UPTON, E.; HALFACREE, G. **Raspberry Pi User Guide**. Wiley, 2014. ISBN 9781118921661. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=g-XhBQAAQBAJ>.

VEEKEN, A.; KALYUZHNYI, S.; SCHARFF, H.; HAMELERS, B. Effect of pH and VFA on hydrolysis of organic solid waste. **Journal of Environmental Engineering**, American Society of Civil Engineers (ASCE), v. 126, n. 12, p. 1076–1081, dec. 2000. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9372(2000)126:12(1076)>.

WALLACE, S.; RICHARDSON, M. **Getting Started With Raspberry Pi: An Introduction to the Fastest-Selling Computer in the World**. Maker Media, Incorporated, 2016. ISBN 9781680452426. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=w4CkDAAAQBAJ>.

WANG, X.; CHEN, Y.; SUI, P.; GAO, W.; QIN, F.; XIA, W.; XIONG, J. Efficiency and sustainability analysis of biogas and electricity production from a large-scale biogas project in China: an emergy evaluation based on LCA. **Journal of Cleaner Production**, Elsevier BV, v. 65, p. 234–245, feb. 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.09.001>.

WOESE, C. R.; MAGRUM, L. J.; FOX, G. E. Archaebacteria. **Journal of Molecular Evolution**, Springer Nature, v. 11, n. 3, p. 252, sep. 1978. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/BF01734485>.

WU, S. C.; CAO, Z. H.; LI, Z. G.; CHEUNG, K. C.; WONG, M. H. Effects of biofertilizer containing n-fixer, p and k solubilizers and am fungi on maize growth: a greenhouse trial. **Geoderma**, Elsevier BV, v. 125, n. 1, p. 155–166, 2005.

ZEITOUNI, C. de F.; BERTON, R. S.; ABREU, C. A. Fitoextração de cádmio e zinco de um latossolo vermelho-amarelo contaminado com metais pesados. **Bragantia**, Instituto Agronômico de Campinas, v. 66, n. 4, 2007.

APÊNDICE A – CUSTOS DO PROJETO

A Tabela 22 abaixo apresenta o custo dos materiais utilizados nas construções do sistema de aquisição de dados e protótipo proposto no projeto.

Tabela 22 – Custo dos materiais utilizados no projeto.

Descrição	**Unidade**	**Quantidade**	**Valor Unitário (R$)**	**Valor Total (R$)**
Tubo PVC Esgoto SN DN 150mm	m	4	26,00	104,00
Cap. Esgoto 150mm	Uni	4	29,00	116,00
Tubo PVC soldavel 32mm	m	8	5,00	40,00
Curva Soldavel 45x32mm	Uni	16	2,00	32,00
Bucha de Redução Soldavel Longa 50x32mm	Uni	8	3,50	28,00
Lamina Serra Starret Bime	Uni	3	5,00	15,00
Durepoxi 100g	Uni	6	6,00	36,00
Silicone 50g	Uni	5	4,00	20,00
Lixa Massa G.150 Marca Tigre	Uni	5	1,00	5,00
Sensor de Gás MQ-4 Metano	Uni	4	20,00	80,00
Módulo Sensor de Pressão BMP180	Uni	4	17,00	68,00
Sensor de temperatura digital à prova d'água - DS18B20	Uni	8	19,00	152,00
raspberry Pi 2	Uni	1	350,00	350,00
Microcontrolador PIC16F628A-I/P	Uni	1	16,00	16,00
Módulo SDCard	Uni	1	10,00	10,00
Cartão de Memória 8GB MicroSd SanDisk com Adaptador	Uni	1	35,00	35,00
Total				1.107,00

Fonte: Autor (2017).

APÊNDICE B – Sensor de pH Biodigestor 1

Tabela 23 – Valores das médias diárias e desvio padrão sensor de pH - Biodigestor 1.

Data	Média	Desvio Padrão
08-17	6,600	0,552
08-18	5,604	0,767
08-19	5,726	0,777
08-20	5,709	0,866
08-21	5,796	0,889
08-22	5,909	0,931
08-23	5,813	0,925
08-24	5,896	0,937
08-25	5,904	0,946
08-26	5,830	0,964
08-27	5,730	0,967
08-28	5,800	0,967
08-29	5,765	0,970
08-30	5,965	0,981
08-31	5,900	0,975
09-01	5,883	0,976
09-02	5,913	0,982
09-03	5,839	0,981
09-04	5,883	0,988
09-05	5,848	0,985
09-06	5,843	0,987
09-07	5,874	0,985
09-08	5,687	0,980
09-09	5,796	0,979
09-10	5,787	0,982
09-11	5,730	0,979
09-12	5,848	0,982
09-13	5,852	0,980
09-14	5,883	0,980
09-15	5,822	0,981
09-16	5,826	0,977
09-17	5,861	0,976

APÊNDICE C – Sensor de pH Biodigestor 2

Tabela 24 – Valores das médias diárias e desvio padrão sensor de pH - Biodigestor 2.

Data	Média	Desvio Padrão
08-17	6,350	0,250
08-18	5,796	0,558
08-19	5,774	0,546
08-20	5,774	0,549
08-21	5,796	0,547
08-22	5,830	0,548
08-23	5,778	0,537
08-24	5,887	0,531
08-25	5,891	0,525
08-26	5,800	0,526
08-27	5,830	0,524
08-28	5,787	0,519
08-29	5,748	0,520
08-30	5,891	0,523
08-31	5,943	0,520
09-01	5,865	0,521
09-02	5,874	0,529
09-03	5,822	0,528
09-04	5,861	0,527
09-05	5,830	0,528
09-06	5,813	0,526
09-07	5,917	0,526
09-08	5,765	0,526
09-09	5,739	0,523
09-10	5,800	0,520
09-11	5,735	0,518
09-12	5,826	0,518
09-13	5,839	0,518
09-14	5,796	0,519
09-15	5,800	0,518
09-16	5,826	0,516
09-17	5,783	0,514

APÊNDICE D – Sensor de pH Biodigestor 3

Tabela 25 – Valores das médias diárias e desvio padrão sensor de pH - Biodigestor 3.

Data	Média	Desvio Padrão
08-17	6,900	0,752
08-18	5,722	1,007
08-19	5,839	1,014
08-20	5,822	1,045
08-21	5,848	1,046
08-22	5,926	1,077
08-23	5,839	1,048
08-24	5,987	1,048
08-25	5,917	1,045
08-26	5,922	1,058
08-27	5,965	1,053
08-28	5,874	1,046
08-29	5,874	1,047
08-30	6,000	1,059
08-31	5,961	1,045
09-01	6,017	1,042
09-02	5,983	1,041
09-03	5,926	1,037
09-04	6,035	1,039
09-05	5,974	1,035
09-06	5,991	1,034
09-07	5,970	1,034
09-08	5,878	1,031
09-09	5,857	1,027
09-10	5,909	1,025
09-11	5,943	1,022
09-12	5,983	1,021
09-13	5,930	1,017
09-14	5,848	1,014
09-15	5,904	1,011
09-16	5,904	1,008
09-17	5,983	1,007

APÊNDICE E – Sensor de pH Biodigestor 4

Tabela 26 – Valores das médias diárias e desvio padrão sensor de pH - Biodigestor 4.

Data	Média	Desvio Padrão
08-17	6,600	0,552
08-18	5,604	0,767
08-19	5,726	0,777
08-20	5,709	0,866
08-21	5,796	0,889
08-22	5,909	0,931
08-23	5,813	0,925
08-24	5,896	0,937
08-25	5,904	0,946
08-26	5,830	0,964
08-27	5,730	0,967
08-28	5,800	0,967
08-29	5,765	0,970
08-30	5,965	0,981
08-31	5,900	0,975
09-01	5,883	0,976
09-02	5,913	0,982
09-03	5,839	0,981
09-04	5,883	0,988
09-05	5,848	0,985
09-06	5,843	0,987
09-07	5,874	0,985
09-08	5,687	0,980
09-09	5,796	0,979
09-10	5,787	0,982
09-11	5,730	0,979
09-12	5,848	0,982
09-13	5,852	0,980
09-14	5,883	0,980
09-15	5,822	0,981
09-16	5,826	0,977
09-17	5,861	0,976

APÊNDICE F – Sensor de Pressão Biodigestor 1

Tabela 27 – Valores das médias diárias e desvio padrão do sensor de Pressão em hPA-Biodigestor 1.

Data	Média	Desvio Padrão
08-17	101078	90,00
08-18	100949	164,00
08-19	100981	168,00
08-20	101014	181,00
08-21	101035	180,00
08-22	101072	183,00
08-23	101084	180,00
08-24	101122	182,00
08-25	101138	183,00
08-26	101166	187,00
08-27	101185	189,00
08-28	101198	190,00
08-29	101226	191,00
08-30	101278	197,00
08-31	101295	200,00
09-01	101313	203,00
09-02	101338	207,00
09-03	101355	210,00
09-04	101389	214,00
09-05	101405	218,00
09-06	101432	221,00
09-07	101447	225,00
09-08	101465	229,00
09-09	101484	232,00
09-10	101517	236,00
09-11	101538	240,00
09-12	101586	246,00
09-13	101596	251,00
09-14	101627	256,00
09-15	101644	261,00
09-16	101663	266,00
09-17	101686	271,00

APÊNDICE G – Sensor de Pressão Biodigestor 2

Tabela 28 – Valores das médias diárias e desvio padrão do sensor de Pressão em hPA-Biodigestor 2.

Data	Média	Desvio Padrão
08-17	101022	30,00
08-18	100941	78,00
08-19	100967	77,00
08-20	100993	80,00
08-21	101016	83,00
08-22	101042	86,00
08-23	101070	87,00
08-24	101102	93,00
08-25	101123	96,00
08-26	101139	100,00
08-27	101163	105,00
08-28	101184	109,00
08-29	101201	113,00
08-30	101251	120,00
08-31	101283	128,00
09-01	101291	133,00
09-02	101315	139,00
09-03	101339	145,00
09-04	101359	151,00
09-05	101381	156,00
09-06	101409	162,00
09-07	101422	167,00
09-08	101441	172,00
09-09	101464	177,00
09-10	101489	183,00
09-11	101511	188,00
09-12	101549	195,00
09-13	101573	202,00
09-14	101592	208,00
09-15	101619	214,00
09-16	101643	221,00
09-17	101671	227,00

APÊNDICE H – Sensor de Pressão Biodigestor 3

Tabela 29 – Valores das médias diárias e desvio padrão do sensor de Pressão em hPA-Biodigestor 3.

Data	Media	Desvio
08-17	101087	100,00
08-18	100940	152,00
08-19	100971	153,00
08-20	101000	161,00
08-21	101024	162,00
08-22	101064	167,00
08-23	101076	166,00
08-24	101119	169,00
08-25	101135	172,00
08-26	101155	175,00
08-27	101177	177,00
08-28	101197	179,00
08-29	101213	181,00
08-30	101266	187,00
08-31	101281	189,00
09-01	101312	194,00
09-02	101332	198,00
09-03	101344	201,00
09-04	101386	207,00
09-05	101402	210,00
09-06	101431	215,00
09-07	101446	219,00
09-08	101461	223,00
09-09	101485	227,00
09-10	101504	231,00
09-11	101534	236,00
09-12	101579	242,00
09-13	101588	247,00
09-14	101614	252,00
09-15	101631	257,00
09-16	101653	262,00
09-17	101680	267,00

APÊNDICE I – Sensor de Pressão Biodigestor 4

Tabela 30 – Valores das médias diárias e desvio padrão do sensor de Pressão em hPA-Biodigestor 4.

Data	Media	Desvio
08-17	101060	74,00
08-18	100920	120,00
08-19	100954	124,00
08-20	100980	138,00
08-21	101017	144,00
08-22	101049	152,00
08-23	101066	153,00
08-24	101105	157,00
08-25	101117	160,00
08-26	101145	167,00
08-27	101166	170,00
08-28	101180	173,00
08-29	101200	175,00
08-30	101254	182,00
08-31	101274	186,00
09-01	101292	190,00
09-02	101317	194,00
09-03	101334	198,00
09-04	101369	203,00
09-05	101387	207,00
09-06	101417	212,00
09-07	101432	217,00
09-08	101441	220,00
09-09	101466	224,00
09-10	101487	228,00
09-11	101512	233,00
09-12	101555	238,00
09-13	101575	244,00
09-14	101597	249,00
09-15	101618	254,00
09-16	101644	260,00
09-17	101670	265,00