

WENDY ALEJANDRA MOGROVEJO MONTENEGRO

**USO DE TABOA PARA O TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS
E PRODUÇÃO DE BIOGÁS**

Botucatu

2019

WENDY ALEJANDRA MOGROVEJO MONTENEGRO

**USO DE TABOA PARA O TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS
E PRODUÇÃO DE BIOGÁS**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Irrigação e Drenagem).

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Máximo Sánchez Román

Coorientadora: Profa. Dra. Kassandra Sussi Mustafé Oliveira

Botucatu

2019

M696u

Mogrovejo, Wendy Alejandra Montenegro

Uso de Taboa para o tratamento de águas residuárias e produção de biogás / Wendy Alejandra Montenegro Mogrovejo. -- Botucatu, 2019
93 p. : il., tabs., fotos

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),
Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu

Orientador: Rodrigo Máximo Sánchez Román

Coorientadora: Kassandra Sussi Mustafé Oliveira

1. Desenvolvimento Sustentável. 2. Gestão de Recursos Naturais. 3.
Biodigestor. 4. Biofertilizante. 5. Modelagem Matemática. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de
Ciências Agrônômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Câmpus de Botucatu



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título: USO DE TABOA PARA O TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS E PRODUÇÃO DE BIOGÁS

AUTORA: WENDY ALEJANDRA MOGROVEJO MONTENEGRO
ORIENTADOR: RODRIGO MÁXIMO SÁNCHEZ ROMÁN
COORIENTADORA: KASSANDRA SUSSI MUSTAFÉ OLIVEIRA

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em AGRONOMIA (IRRIGAÇÃO E DRENAGEM), pela Comissão Examinadora:

Prof.ª Dr.ª KASSANDRA SUSSI MUSTAFÉ OLIVEIRA
Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu - UNESP

Dr.ª ROSEMARY MARQUES DE ALMEIDA BERTANI
Pesquisa e Desenvolvimento / APTA - Polo Regional Centro Oeste - Bauru

Prof.ª Dr.ª ANA PAULA RUSSO SCHIMIDT JEFERY
Agronomia / Faculdade Eduvale de Avaré

Botucatu, 12 de dezembro de 2019.

Dedico à minha família, especialmente a meus pais, que me ajudaram em todo momento. A minha avó Dora que se preocupou por mim o tempo todo. A minha tia Jovita que sempre estará presente no meu coração. Ao professor Rodrigo, que apesar de tudo sempre acreditou em mim. Dedico o trabalho especialmente à mim que nunca acreditei ter uma oportunidade assim na minha vida.

AGRADECIMENTOS

A meu orientador, Prof. Dr. **Rodrigo Máximo Sánchez Román**, pela oportunidade de trabalhar e pelo apoio durante o mestrado.

A minha coorientadora, Profa. Dra. **Kassandra Sussi Mustafé Oliveira**, por todo o apoio e conhecimento compartilhado durante o mestrado.

Ao professor Dr. Paulo Roberto de Lima Meirelles pelo auxílio com as análises bromatológicas

À professora Dra. Valeria Cristina Rodrigues Sarnighausen pela ajuda com o manejo do inóculo e esclarecimento de dúvidas.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agrônômicas- FCA, em especial ao Israel pela ajuda e suporte durante meu trabalho, ao William pela ajuda durante a montagem dos equipamentos.

Ao Professor João Escobedo pela preocupação de pai que ele sempre teve.

Aos meus colegas Luana e Marcelo que me ajudaram com o experimento.

À Fran por sempre me motivar com o trabalho, a Profa. Alba por sempre se preocupar por mim, a Tami que foi de muito apoio sempre.

A Rocio que foi minha companheira nesta experiência, agradeço o apoio incondicional dela sempre.

A minha **família** por todo o apoio.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

RESUMO

A demanda mundial por energia aumenta constantemente após o aumento da população, portanto pesquisas de fontes renováveis de energia são muito importantes. O biogás produzido nos biodigestores pode ser resposta para a produção da energia no futuro. O gás metano que se encontra no biogás, tem potencial de aquecimento 21 vezes maior que o gás carbônico. A combustão do biogás transforma o metano em CO₂ e reduz o impacto de gases do efeito estufa em mais de 20 vezes. Os biodigestores atualmente são conhecidos como alternativas de fontes de energia sustentáveis e também de suprimento de biofertilizantes. A tecnologia dos biodigestores pode ser adequadamente utilizada em comunidades rurais, onde muitas vezes pode existir déficit de serviços de saneamento básico e escassez de energia elétrica. Neste trabalho o processo de biodigestão anaeróbia em escala laboratorial foi monitorado ao longo de 40 dias, usando quatro tratamentos - cada um com três repetições, com proporções diferentes de substrato e inóculo. Os resultados monitorados foram o volume de biogás produzido, a temperatura e o biofertilizante produzido. Cada biodigestor foi abastecido com o material vegetal e inóculo originado de biodigestor em produção. A Taboa (*Typha latifolia*) é uma macrófita obtida de um SACs para o tratamento de águas residuais, e também pode ser encontrada em reservatórios de armazenamento de água e lagoas, apresentando caráter adaptável. O inóculo foi enriquecido com dejetos de gado do setor bovino do Departamento de Bovinocultura da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Unesp, Botucatu-SP. O trabalho foi desenvolvido para proporcionar uma alternativa de reúso para a Taboa utilizada nos SACs, fechando dessa forma um ciclo do uso desta cultura nos SACs. Os tratamentos realizados neste trabalho produziram biogás e biofertilizante, e foram confirmados através de modelagem matemática, concluindo que o uso desta cultura é uma solução sustentável para a produção de biogás e o tratamento de águas residuais.

Palavras-chave: Desenvolvimento Sustentável. Gestão de Recursos Naturais. Biodigestor. Biofertilizante. Modelagem Matemática.

ABSTRACT

The world demand for energy is steadily increasing after population growth, therefore research into renewable energy sources is important. Biogas produced in biodigesters may be the answer to future energy production. Methane in biogas has a heating potential 21 higher than carbon dioxide. Biogas combustion converts methane to CO₂ and reduces the impact of greenhouse gases by more than 20 times. Biodigester technology can be adequately used in rural communities, where there may often be a shortage of sanitation services and a lack of electricity. In this work, the lab scale anaerobic digester was monitored over 40 days, using four treatments – each one with three replications, with a different substrate and inoculum proportions. The monitored results were the volume of biogas produced, the temperature and the biofertilizer produced. Each biodigester was supplied with chopped macrophyte material and inoculum originated from a biodigester system in production. The cattail (*Typha latifolia*) is a macrophyte obtained from a Constructed Wetland System for wastewater treatment, and can also be found in water storage reservoirs and ponds, featuring adaptable character. The inoculum was enriched with cattle manure from the Department of the Faculty of Veterinary Medicine and Zootechnics, Unesp, Botucatu-SP. The work was developed to provide a reuse alternative for the cattail used in Constructed Wetlands; in this way closing a sustainable cycle of the use of the cattail in wetlands for the treatment of wastewater aiming its reuse in agriculture irrigation. The treatments performed in this work generated biogas and biofertilizer and were confirmed by mathematical modeling used on each treatment, concluding that cattail can be reused as a sustainable solution for biogas production and wastewater treatment.

Keywords: Sustainable development. Biodigester. Natural Resource Management. Biofertilizer. Mathematical Modeling.

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1- Demanda global de água por setor até 2040.....	32
Figura 2- Modelos tradicionais de sistemas de tratamento de águas residuais.....	34
Figura 3- Classificação dos alagados construídos.....	36
Figura 4- Formas biológicas de macrófitas.....	37
Figura 5- Lagoa com elevada quantidade de macrófitas na sua superfície.	39
Figura 6- Número de cabeças efetivo da pecuária (em mil cabeças)- Brasil, 2015.....	41
Figura 7- Evolução do efetivo de bovinos (milhões de cabeças).....	42
Figura 8- Fontes Antrópicas Globais de Gás Metano.....	43
Figura 9- Esquema da decomposição anaeróbia.....	44
Figura 10- Classificação dos resíduos passíveis de digestão anaeróbia.....	46
Figura 11- Diagrama genérico do processo de geração de Biogás.....	43
Figura 12- Esquema básico de um biodigestor rural.....	48
Figura 13- Alternativas de uso de biogás e requerimentos para sua purificação.....	51
Figura 14- Taboa na área de coleta da Fazenda Experimental Edgardia....	54
Figura 15- Área da localização do SACs.....	55
Figura 16- SACs no dia do plantio das macrófitas.....	56
Figura 17- Caixas de distribuição de efluente.....	56
Figura 18- Comprimento da Taboa colhida.....	57
Figura 19- Taboa cortada em pedaços de 2 a 3 cm de comprimento.....	58
Figura 20- Taboa triturada na proveta (10 mL).....	58
Figura 21- Corte e secagem da Taboa.....	59
Figura 22- Inóculo de biodigestor em funcionamento e dejetos bovinos.....	60
Figura 23- Sistema para medições do volume de Biogás produzido.....	60
Figura 24- Volume de solução de Taboa triturada.....	61
Figura 25- Volume final do meio de cultura (mL).....	62

Figura 26- Esquema do aparato para produção de Biogás.....	62
Figura 27- Frasco utilizado como biodigestor.....	63
Figura 28- Biofertilizante restante.....	63
Figura 29- Macrófitas 60 dias após o replantio.....	65
Figura 30- Taboa seca nos cadinhos.....	65

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1- Vantagens e desvantagens presentes nos SACs.....	35
Tabela 2– Métodos de controle de macrófitas aquáticas.....	39
Tabela 3- Formulação de meio de cultura para produção de Biogás.....	61
Tabela 4- Determinação da Taboa seca triturada.....	66
Tabela 5- Resultados da análise bromatológica da Taboa.....	67
Tabela 6- Composição química da Taboa.....	67
Tabela 7- Caracterização do inóculo.....	67
Tabela 8- Resultado da análise de biofertilizante.....	71
Tabela 9- Levantamento de trabalhos científicos usando biomassa vegetal como fonte de nutrientes para produção de Biogás.....	72

LISTA DE QUADROS

	Página
Quadro 1- Propriedades gerais do Biogás.....	50
Quadro 2- Comparação dos valores característicos e propriedades de enriquecimento de biofertilizantes e adubo orgânico.....	52
Quadro 3- Índices gerados com os três ajustes dos modelos matemáticos para o Tratamento 1.....	75
Quadro 5- Índices gerados com os três ajustes dos modelos matemáticos para o Tratamento 2.....	78
Quadro 5- Índices gerados com os três ajustes dos modelos matemáticos para o Tratamento 3.....	80
Quadro 6- Índices gerados com os três ajustes dos modelos matemáticos para o Tratamento 4.....	82

LISTA DE GRÁFICOS

	Página
Gráfico 1- Média do Volume de Biogás produzido (mL).....	68
Gráfico 2- Velocidade média acumulado dos quatro tratamentos.....	69
Gráfico 3- Gráfico de barras da soma de produção de Biogás acumulado.	70
Gráfico 4- Produção de biogás em função da concentração de substrato e o volume acumulado de Biogás.....	70
Gráfico 5- Curva ajustada dos volumes acumulados de biogás dos três modelos matemáticos utilizados com os dados do Tratamento 1 (200 mL de inóculo sem presença de Taboa).....	73
Gráfico 6- Curva ajustada dos volumes acumulados de biogás dos três modelos matemáticos utilizados com os dados do Tratamento 2 (200 mL de inóculo + 10 mL de Taboa).....	76
Gráfico 7- Curva ajustada dos volumes acumulados de biogás dos três modelos matemáticos utilizados com os dados do Tratamento 3 (200 mL de inóculo + 10 mL de Taboa).....	79
Gráfico 8- Curva ajustada dos volumes acumulados de biogás dos três modelos matemáticos utilizados com os dados do Tratamento 4 (200 mL de inóculo + 40 mL de Taboa).....	81

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AGRILAB	Análises Agrícolas e Ambientais Ltda.
Cfa	Clima subtropical úmido
CHESF	Companhia Hidrelétrica do São Francisco
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CTCN	<i>Climate Technology Centre and Network</i>
DSRA	Departamento de Solos e Recursos Ambientais
EE	Extrato etéreo
FDA	Fibra detergente ácido
FDN	Fibra detergente bruto
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
GEE	Gases de efeito estufa
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LTZ	<i>Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg</i>
MCT	Ministério da Ciência e Tecnologia
MM	Matéria mineral
MO	Matéria orgânica
MS	Matéria seca
NPK	Nitrogênio, fósforo e potássio
PB	Proteína bruta
PFC's	Perfluorcarbonetos ou compostos perfluorados
SACs	Sistema de Alagados Construídos
UFSCAR	Universidade Federal de São Carlos
USDA	<i>United States Department of Agriculture</i>
WWAP	<i>United Nations World Water Assessment Programme</i>
WWF	<i>World Wildlife Fund</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

atm	Atmosfera
C/N	Relação carbono/nitrogênio
CaO/t	Óxido de cálcio por tonelada
Cel	Celulose
CH ₄	Gás Metano
CO	Monóxido de Carbono
CO ₂	Dióxido de Carbono
g·L ⁻¹	Gramas por litro
H ₂	Hidrogênio
H ₂ S	Sulfeto de Hidrogênio
K ₂ O	Óxido de potássio
kg kmol ⁻¹	Quilograma por massa molar
kg m ⁻³	Quilograma por metro cúbico
kg·t MF	Quilograma por tonelada de matéria fresca
Km·dia ⁻¹	Quilometro por dia
kW h m ⁻³	Quilowatt-hora por metro cúbico
L petróleo/m ³	Litro de petróleo por metro cúbico
Lig	Lignina
MF	Matéria fresca
MgO	Magnésio
mil t·dia ⁻¹	Mil toneladas/dia
mL	Mililitro
N ₂ O	Óxido Nitroso
N-NH ₃	Nitrogênio amoniacal
P ₂ O ₅	Fósforo
S	Enxofre

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	27
2 OBJETIVOS.....	31
3 REVISÃO DA LITERATURA.....	32
3.1 Consumo e uso de água no mundo.....	32
3.2 Tratamento de água.....	33
3.3 Sistema de Alagados Construídos (SACs).....	34
3.4 Macrófitas aquáticas.....	36
3.4.1 Funções das macrófitas aquáticas.....	38
3.4.2 Considerações sobre o descarte e aproveitamento das macrófitas aquáticas.....	40
3.5 Resíduos bovinos no Brasil.....	41
3.5.1 Impacto ambiental dos resíduos bovinos.....	42
3.6 Digestão anaeróbia.....	43
3.6.1 Substratos para a digestão anaeróbia.....	46
3.7 Biodigestor.....	47
3.8 Biogás.....	49
3.9 Biofertilizante.....	51
3.10 Modelos matemáticos aplicados na produção de biogás.....	53
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	54
4.1 Obtenção e processamento de Taboa.....	54
4.1.1 Área de Coleta.....	54
4.1.2 Plantio de Taboa em Sistemas de Alagados Construídos.....	55
4.1.3 Origem da água residuária.....	56
4.1.4 Preparo da Taboa picada úmida para uso como substrato em Biodigestores.....	57
4.1.5 Determinação da Bromatologia da Taboa.....	59
4.2 Origem e preparo do Inóculo para produção de Biogás.....	59
4.3 Produção de Biogás.....	60
4.3.1 Preparo dos meios de cultura.....	61
4.3.2 Aparato para produção de biogás.....	62
4.3.3 Medições da produção de biogás.....	63
4.4 Caracterização de Biofertilizante.....	63

4.5 Análise de resultados.....	64
4.5.1 Modelagem matemática.....	64
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	65
5.1 Resultados da determinação da matéria seca da Taboa.....	65
5.2 Caracterização da Bromatologia da Taboa.....	66
5.3 Produção de biogás.....	67
5.4 Velocidade média da produção de biogás.....	68
5.5 Resultado de biofertilizante.....	71
5.6 Modelos matemáticos.....	73
6 CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	83
7 CONCLUSÕES.....	85
REFERÊNCIAS.....	87

1 INTRODUÇÃO

O uso da água tem aumentado em todo o mundo nas últimas décadas, o que se deve principalmente a uma combinação do crescimento populacional, as atividades socioeconômicas apresentadas no dia a dia e as mudanças nos níveis de consumo. A demanda mundial por água está aumentando consideravelmente em relação ao nível de uso atual, provocando dessa forma escassez severa de água e efeitos da mudança climática (WWF, 2014).

No mundo, entre as atividades que requerem grandes quantidades de água está a irrigação; No Brasil, por exemplo, mais da metade do consumo de água anual é destinada para a irrigação de culturas no campo. Na medida em que aumenta o crescimento populacional também se encontra o crescimento agrícola e a necessidade de obtenção de alimentos, tornando a irrigação uma das atividades mais importantes e necessárias no mundo (FARIA, 2018)..

A disponibilidade da água para irrigar se refere a água fisicamente disponível, o que inclui o desafio de gestão de recursos hídricos, para de essa forma obter uma maior produção agrícola utilizando a menor quantidade de água possível; a reciclagem e o reúso da água também conformam a gestão de recursos hídricos.

O tratamento de águas tem como objetivos desinfetar e proteger a água para seu uso e aproveitamento de maneira sustentável em diferentes atividades socioeconômicas. Existem métodos de tratamento de águas e eles dependem da natureza da água a tratar, as condições econômicas, sociais e culturais da comunidade para o tratamento e a finalidade de seu uso.

O tratamento de águas residuárias para reúso na agricultura irrigada a traves de SACs (Sistema de Alagados Construídos), é um método econômica e ambientalmente viável pelo uso de macrófitas para a desinfecção da água tratada, além de produzir um subproduto que pode ser utilizado como matéria-prima para seu aproveitamento. Uma das culturas recomendadas a utilizar neles é a Taboa (*Typha latifolia*). Devido ao intenso crescimento de macrófitas proporcionado nos SAC's, o vegetal passa a constituir num subproduto do processo de tratamento das águas residuárias, muitas vezes descartado sem um fim apropriado. A Taboa pode ser utilizada como matéria-prima para produção de energia sustentável, como ser a produção de biogás e também de biofertilizante.

Atualmente uma das maiores preocupações que afligem o mundo é a crise pelo esgotamento de recursos naturais. Segundo dados do Fundo Mundial para a Natureza (WWF, 2014) e da Global Footprint Network (2019) o planeta Terra entrou no “vermelho” com o uso de recursos naturais, o que significa, que atualmente usamos mais recursos do que o planeta consegue regenerar. Isso significa que os recursos disponíveis no nosso dia a dia (como a água, combustíveis fósseis, animais para comércio, etc.) ingressaram num déficit. As Zonas Rurais e os países em desenvolvimento passam por carência de fontes de energia, necessárias para o incremento da produção agrícola e outras atividades. O sistema produtivo brasileiro, por exemplo, já começou a perceber a necessidade da preservação ambiental, resultando em iniciativas para uso sustentável da terra, da água e da energia, por setores mais relevantes da economia nacional.

A agricultura apresenta iniciativas pela preocupação dos produtores para conservar e recuperar os recursos naturais através de certificações ambientais, que analisam e verificam como ser a fertilidade do solo, a qualidade de água superficial e a água disponível nos lençóis freáticos (FARIA, 2018).

O trabalho da *Circular Economy 100* (2017) manifesta a importância da utilização de novas tecnologias, que proporcionam uma maior efetividade no consumo de água, uso de fertilizantes e pesticidas na produção na propriedade rural. Atualmente existem organizações que desempenham o papel de dispersar as novas tecnologias existentes aos pequenos produtores. Devido à diminuição de recursos naturais, como os combustíveis fósseis, a necessidade global de fontes alternativas de energia está crescendo rapidamente.

Com relação ao fornecimento de novas fontes de energia também existe a necessidade da redução de gases de efeito estufa (GEE) os quais são: dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), perfluorcarbonetos (PFC's) e vapor de água; para que as fontes de energia alternativas sejam sustentáveis e ambientalmente amigáveis (MSHANDETE, 2009; LIM et al., 2012). Pela crescente crise de combustíveis fósseis que afeta principalmente os países em desenvolvimento, se torna necessário explorar alternativas para fontes sustentáveis de energia a partir, por exemplo, de diferentes tipos de resíduos gerados no planeta terra, particularmente os resíduos orgânicos. Os projetos de pesquisa procuram um tratamento, gestão e disposição dos resíduos orgânicos tendo como principal fator de pesquisa a produção de uma fonte de energia sustentável que simultaneamente

consiga promover melhorias sociais e ambientais (ACKOM et al., 2013; ADELERE; UDUOGHENE, 2017). As fontes de energia sustentáveis, também conhecidas como fontes de energia renováveis são desenvolvidas a partir do uso de plantas, animais e massa microbiana como material de resíduos orgânicos, gerados a partir de diversos tipos de atividades humanas (MSCHANDETE, 2009; LIM et al., 2012; ADELERE; UDUOGHENE, 2017).

Atualmente entre os principais desafios mundiais para a gestão dos recursos hídricos é conseguir uma maior produção agrícola com uma menor quantidade de água, dessa forma racionalizando a água para outros usos. Trabalhos indicam que existe uma competição pelo uso de água de qualidade no sector doméstico, industrial e agrícola, principalmente em regiões populosas. Ao mesmo tempo, com o aumento da urbanização e o incremento de atividades agrícolas, existe uma geração de grandes volumes de águas residuárias, o qual é um problema ambiental (CAPRA; SCICOLONE, 2004).

Entre as soluções para o tratamento de águas residuárias está o tratamento em SACs, escolhida por ser uma forma simples e de baixo custo para redução de carga orgânica da água. Enquanto oferece essa redução de carga orgânica, o sistema permite o desenvolvimento de espécies vegetais que podem ser comercializadas (FIA et al., 2011; FIA et al., 2017). De forma geral, os SACs removem poluentes presentes na água através de mecanismos físicos, químicos e biológicos, tais como sedimentação, filtração, interações microbianas, extração de poluentes ou carga orgânica pelas plantas e evapotranspiração (WOOD, 1995). Dependendo da qualidade com que a água sai do sistema, ela pode ser destinada a irrigação na agricultura ou ser descartada em um corpo de água.

Na gestão de fontes de energia, existem os biocombustíveis que possuem muitas vantagens na produção, entre os mais importantes está o biogás. Ele pode ser produzido a partir de uma ampla gama de materiais orgânicos, incluindo resíduos de diferentes origens. Para a produção de biogás são utilizados substratos comuns como resíduos domésticos, resíduos da indústria de alimentos, lodos de esgoto presentes nas estações de tratamento de águas residuais até substratos de origem agrícolas como estrume ou resíduos vegetais (WARD et al, 2008).

O biogás pode ser utilizado na produção de eletricidade, calor e como biocombustível. Os produtos que restam do processo de digestão anaeróbia da

produção de biogás podem ser disponibilizados como biofertilizantes para seu uso na agricultura. Portanto, o biogás é um componente importante de um sistema para uma disposição eficaz de resíduos e de forma simultânea produzir um biocombustível a partir de uma fonte de energia sustentável. O biogás é combustível composto com metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2) como principais constituintes, enquanto gases como sulfeto de hidrogênio (H_2S) e monóxido de carbono (CO) estão presentes em pequenas quantidades. A indústria do biogás está constantemente procurando novos substratos, para que o biogás se torne numa alternativa importante aos combustíveis fósseis ele deve ser produzido em grandes quantidades, pelo qual precisa do aumento de suprimento de material orgânico (ALVINGE, 2010; SUDHAKAR et al., 2013).

Uma fonte alternativa de material orgânico pode ser a biomassa que resta dos Sistemas de Alagados Naturais ou dos Sistemas de Alagados Construídos (SACs), os quais são utilizados geralmente para o tratamento de águas residuais com o objetivo de reduzir a concentração de nutrientes, matéria orgânica, sólidos e remoção de coliformes termotolerantes. O Centro e Rede de Tecnologia Climática-CTCN explica que os sistemas de alagados naturais ou Natural Wetlands, são ecossistemas saturados permanentemente ou ocasionalmente de água, criando dessa forma habitats para plantas aquáticas ou macrófitas que promovem o desenvolvimento de solos hídricos. Existem diversos tipos incluindo: pântanos, pântanos com florestas, prados úmidos e manguezais. Estes sistemas contribuem com a purificação da água, ajudam a manter a biodiversidade e a estética do ecossistema. Do mesmo modo o sistema é capaz de tratar diferentes tipos de poluentes presentes nas águas, e ao mesmo tempo gerar nutrientes os quais ajudam a preservar a atividade biológica presente. Segundo Queluz (2016), o alagado construído é um sistema artificial que é dimensionado e construído para o tratamento de águas residuárias utilizando os mesmos processos presentes nos alagados naturais. Os SACs apresentam condições mais controladas. Como resultado, as plantas aquáticas presentes nestes alagados absorvem em sua biomassa o que a água residuária contém à medida que elas crescem; essas plantas poderiam ser colhidas em vez de deixar a biomassa se decompor. Dependendo do alagado e a quantidade de plantas aquáticas presentes, elas podem ser colhidas várias vezes sem diminuir a produção de biomassa ou de absorção de nutrientes presentes na água (GEBER, 2003; ALVINGE, 2010).

2 OBJETIVOS

O objetivo geral neste trabalho foi de verificar a viabilidade do uso da *Typha latifolia* presente em SACs como matéria prima para a produção de biogás e de biofertilizante, usando inóculo microbiano - provindo de biodigestor - como catalisador biológico.

Como objetivos específicos do trabalho temos:

- I. Reutilizar a taboa desenvolvida no SACs para produção de energia;
- II. Propor um sistema de produção de biogás viável e ambientalmente responsável;
- III. Determinar o volume de biogás produzido pelo sistema testado;
- IV. Analisar o biofertilizante produzido no sistema;
- V. Avaliar a eficiência do sistema de produção de biogás através de modelos matemáticos.

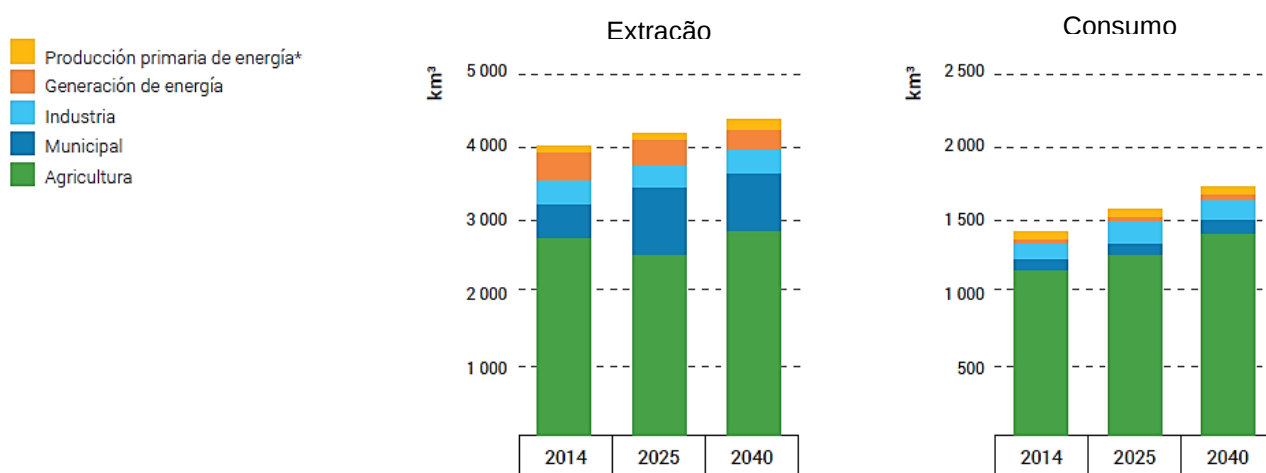
3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Consumo e uso de água no mundo

O uso da água tem aumentado em todo o mundo em aproximadamente 1% por ano desde a década de 1980. O aumento constante deve-se principalmente à crescente demanda nos países em desenvolvimento e as economias emergentes (embora o uso per capita de água na maioria desses países continue bem abaixo do uso da água nos países desenvolvidos). Esse crescimento é impulsionado pela combinação de crescimento populacional, desenvolvimento socioeconômico e evolução dos padrões de consumo. A agricultura (incluindo irrigação, pecuária e aquicultura) é de longe a maior atividade de consumo de água, uma vez que representa 69% das extrações anuais de água globalmente. O setor (incluindo geração de energia) representa 19%, e famílias 12% (WWAP/ONU-Água, 2019).

Aguarda-se que a demanda global de água continue aumentando a uma taxa semelhante até o ano 2050, até um aumento de 20 a 30% acima do nível atual de uso da água. Mesmo que as projeções específicas possam variar um pouco, a análise atual sugere que a maior parte desse crescimento será atribuída ao aumento na demanda nos setores industriais e domésticos. Portanto, é provável que a presença da agricultura no uso total da água compense comparado com outros setores, não obstante continuará sendo o maior usuário nas próximas décadas em termos de extração e consumo de água, conforme a Figura 1 (WWAP/ONU-Água, 2019).

Figura 1- Demanda global de água por setor até 2040



Fonte: WWAP/ONU-Água, 2019

Segundo a Figura 1, a extração de água refere-se ao volume de água removido de uma fonte; as extrações são sempre maiores ou igual ao consumo. O consumo de água refere-se ao volume extraído que não é restituído na fonte (ou seja, evapora ou flui para outro corpo hídrico) e, por definição, não está mais disponível para outros usos localmente.

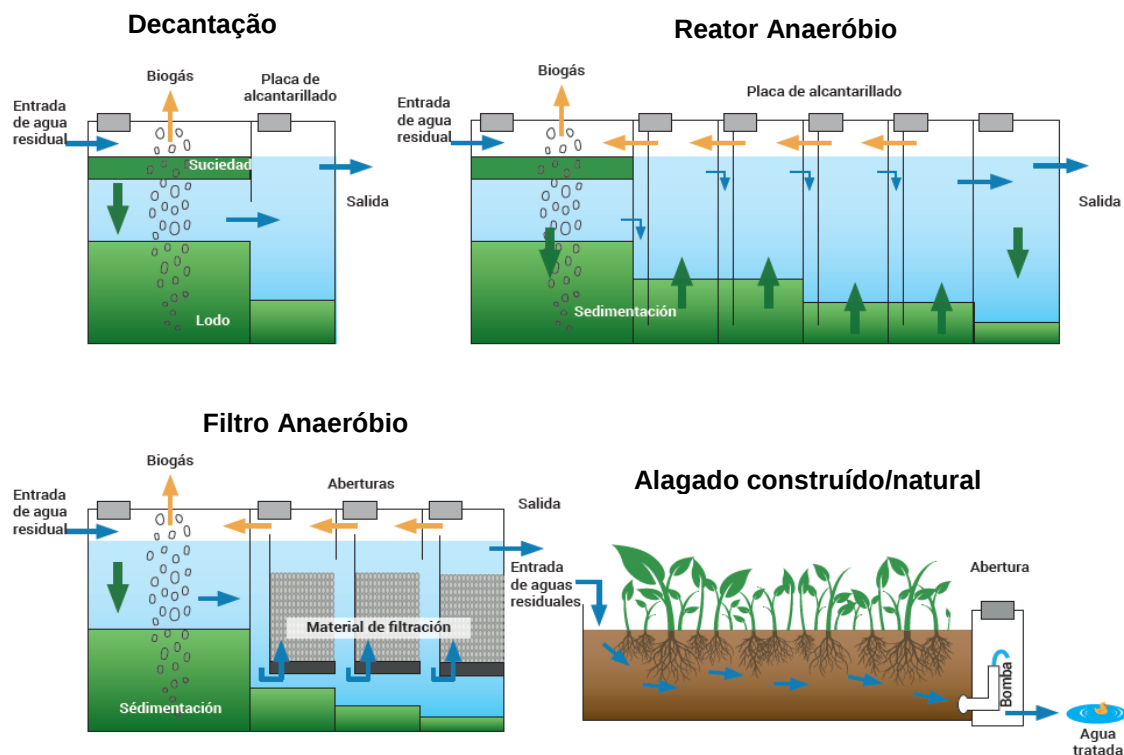
3.2 Tratamento de água

O tratamento de água está relacionado aos processos físicos, químicos ou biológicos utilizados para eliminar contaminantes presentes no recurso hídrico e proteger a água contra uma recontaminação. Os métodos mais comuns de tratamento dependem do fornecimento elétrico (o que raramente ocorre em países em desenvolvimento), também existem soluções de baixa tecnologia ou baseadas na natureza. O tratamento de águas forma parte dos processos apresentados no saneamento, além de coleta, transporte e eliminação de resíduos. O transporte, refere-se a um sistema encanado subterrâneo de esgoto; nos processos de eliminação, os resíduos são divididos em líquidos e sólidos, dessa forma podem ser descartados de maneira segura no meio ambiente e o tratamento normalmente envolve estações de tratamento de esgoto centralizadas ou sistema localizados (WWAP/ONU-Agua, 2019).

Abordagens tradicionais ao saneamento e gestão de águas residuais em áreas urbanas tendem a favorecer a coleta e o tratamento centralizados a maior escala. Além do tratamento eficiente das águas residuais, a reutilização local para irrigação de culturas pode levar a um mercado baseado no valor das águas residuais tratadas. Se o sistema de tratamento é simples de manusear e manter, podem ser gerenciados por pessoal pouco capacitado, as vezes por grupos comunitários (WWAP, 2017).

Na Figura 2, se apresentam diferentes tipos de sistemas tradicionais de tratamento de águas residuárias. Geralmente, uma combinação de processos unitários simples, a maioria das vezes sem a necessidade de energia externa. Os sistemas tem a vantagem de conectar diversos tipos de redes ou processos, dessa maneira podem tratar maiores volumes de água, eles são particularmente apropriados quando as populações de baixa renda estão em risco de contaminação no abastecimento de água, pelo esgoto e lodo de esgoto (WWAP/ONU-Agua, 2019).

Figura 2- Modelos tradicionais de sistemas de tratamento de águas residuais



Fonte: WWAP/ONU-Água, 2019

O sistema alagado é considerado o tratamento de menor custo e o mais utilizado em populações pequenas e de economia baixa, sua manutenção é simples.

3.3 Sistemas de Alagados Construídos (SACs)

Alagados naturais ou Natural Wetlands denominadas em inglês, são sistemas naturais ou locais que permanecem saturados de água por um tempo suficiente o qual permite o desenvolvimento de plantas que conseguem crescer em solos saturados, como por exemplo: Pântanos, charcos, manguezais, etc. A saturação nesta definição significa a apropriação dos espaços intersticiais do solo pela água (KADLEC; WALLACE, 2008).

Segundo o Centro e Rede de Tecnologia Climática-CTCN, os alagados naturais oferecem várias funções para o ecossistema, como ser as seguintes:

- Melhoramento e purificação na qualidade da água

- Manutenção da biodiversidade e estética do ecossistema
- Ajuda no cuidado da fauna
- Trata diferentes tipos de poluentes presentes na água
- Gera nutrientes

Conforme Davis (1995) e Queluz (2016), os SACs consistem num sistema artificial corretamente projetado e construído que contem água residuária e um substrato que otimiza a condutividade hidráulica, onde se apresentam os mesmos processos dos alagados naturais baixo condições mais controladas. Os SACs apresentam vantagens e desvantagens (Tabela 1) desde a implementação do mesmo até os resíduos produzidos e a água tratada.

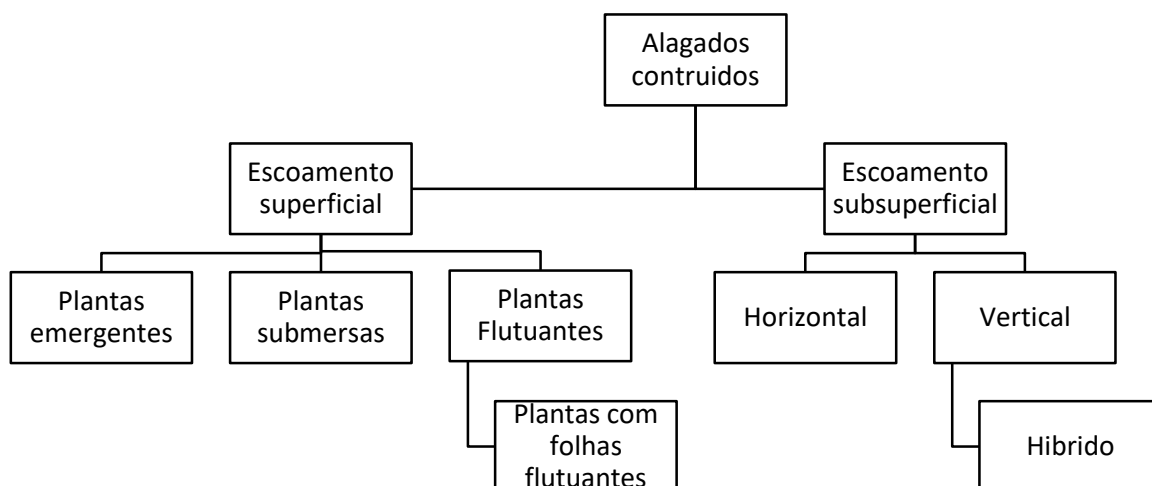
Tabela 1– Vantagens e desvantagens presentes nos Sistemas de Alagados Construídos

Vantagens	Desvantagens
• Custos de operação e construção baixos • Não precisa uso de energia elétrica • Tolerância a flutuações no ciclo hidrológico e nas cargas de contaminantes presentes na água • Necessidade de manutenção baixa, não requer produtos químicos ou maquinas • Adesão de espaços verdes e áreas recreacionais • A biomassa vegetal pode ser utilizada para ração animal, produção de biogás e biofertilizantes • Alta remoção de sólidos suspensos, sólidos sedimentáveis, matéria orgânica, nitrogênio, fosforo e patógenos	• Eficiência sazonal • Necessidade de caracterização dos sólidos do efluente, tipo de fluxo, ciclo hidrológico e regime de temperaturas • Possivelmente podem causar problemas com mosquitos ou outros vetores • Requer um período até a vegetação se estabeleça • Colmatação, alguns compostos orgânicos removidos pelo sistema podem ser vinculados aos sedimentos e se acumularem ao longo do tempo

Fonte: Adaptado de Silva (2007).

Os SACs são classificados segundo seu tipo de escoamento, sendo classificados segundo seu tipo de escoamento, sendo: escoamento superficial e escoamento subsuperficial. A classificação é apresentada na Figura 3.

Figura 3- Classificação dos alagados contruídos



Fonte: Adaptado de Vymazal (2007)

3.4 Macrófitas aquáticas

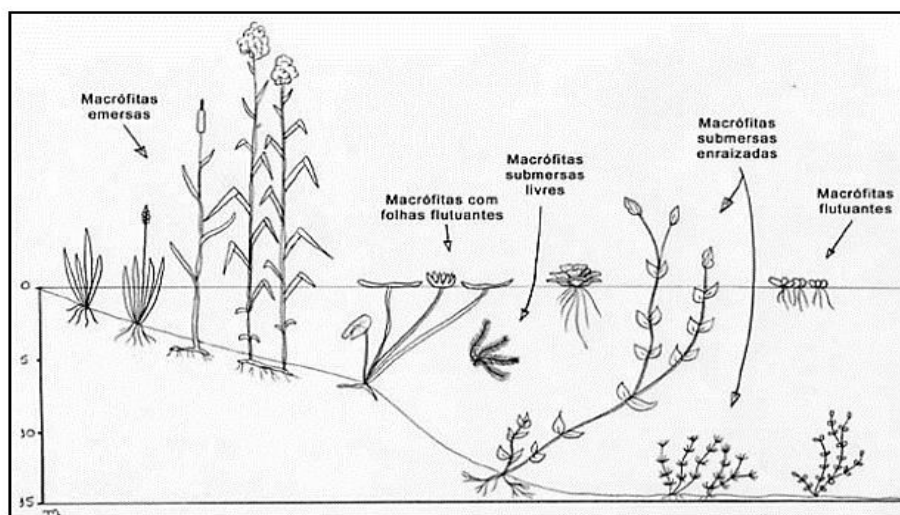
As plantas aquáticas, também conhecidas como macrófitas aquáticas, do latim (*macro* = grande; *fita* = planta) são vegetais que se adaptaram ao ambiente aquático. As partes fotossinteticamente ativas das macrófitas aquáticas podem estar permanentemente ou por algum período do ano submersas em água ou flutuantes em sua superfície (COOK et al., 1974). As macrófitas aquáticas possuem um importante papel ecológico, constituindo-se como principal produtor de matéria orgânica e sendo como local de desova, proteção e alimentação para vários invertebrados e vertebrados (THOMAZ; BINI, 1998). As macrófitas também podem chegar a causar danos ambientais pelo seu crescimento exagerado; elas apresentam uma grande capacidade de adaptação e podem ser encontradas às margens e áreas rasas de corpos hídricos superficiais, entre outros corpos de água, ou até mesmo a mais de 10 m de profundidade (TARDIVO; BACH; MORO, 2007).

No Brasil, as espécies de macrófitas aquáticas classificadas com maior grau de crescimento são as seguintes: *Eichhornia crassipes*, *Egeria spp*, *Eleocharis sp*,

Ludwigia spp, *Oxycaryum cubense*, *Pistia stratiotes*, *Salvinia* spp e *Typha domingensis* (BIANCHINI et al., 2010).

De acordo com Thomaz e Bini (1998) existem cinco tipos de formas biológicas do grupo de macrófitas segundo o grau de adaptação das macrófitas ao meio aquático (Figura 4).

Figura 4- Formas biológicas de macrófitas



Fonte: Thomaz; Bini (1998)

Segundo o Programa de Biodiversidade da Universidade Federal de São Carlos – UFSCAR, Pompêo e Moschini (2003), a classificação comumente aceita no Brasil é a seguinte:

- Macrófitas aquáticas emersas: plantas enraizadas no sedimento, porém o crescimento das folhas é para fora da água. Ex.: Junco e Taboa.
- Macrófitas aquáticas Flutuantes: plantas que flutuam livremente sobre a superfície da água. Ex.: Alface d'água, Aguapé, Orelha-de-rato.
- Macrófitas aquáticas submersas enraizadas: plantas enraizadas que crescem totalmente debaixo d'água. Ex.: Elódea e Cabomba.
- Macrófitas aquáticas submersas livres: plantas que permanecem flutuando debaixo d'água. Ex.: Utriculária.
- Macrófitas aquáticas com folhas flutuantes: Plantas enraizadas com folhas flutuando na superfície. Ex.: Lírio d'água e Vitória-régia.

Ainda sobre as formas biológicas mencionadas, Pompêo e Moschini (2003) incluíram o seguinte nessa classificação:

- Macrófitas aquáticas anfíbias: plantas que vivem dentro da água em períodos de cheia, mas sobrevivem perfeitamente no solo em períodos de seca. Ex.: *Xanthosoma* e *Sesbania*.
- Macrófitas aquáticas epífitas: Plantas que crescem sobre as outras sem parasita-las. Ex.: *Mikania cordifolia* e *Eleocharis mutata*.

3.4.1 Funções das macrófitas aquáticas

Pompêo (2008), Oertli, Lachavane (1995) e Thomaz (2002) mencionam que existem diversas características presentes nas macrófitas aquáticas, elas se destacam pela capacidade superior de acumular nutrientes, dessa maneira servindo como fonte alimentar de outros seres vivos. As folhas e flores apresentam maior conteúdo de nutrientes. Entre outras funções importantes que apresentam as macrófitas podem-se citar as seguintes: as macrófitas funcionam como microhabitats para peixes recém nascidos, algas e bactérias fixadoras de nitrogênio; proporcionam sombra para muitos seres; chegam a funcionar como bioindicadores ambientais; poder ser utilizadas para obtenção de biogás e reduzem a turbulência presente na água, favorecendo o desenvolvimento de espécies animais.

De acordo com Cui e Cheng (2014), as macrófitas aquáticas possuem um potencial para produção de energias alternativas: como etanol, butanol e principalmente biogás. Devido à alta absorção de nutrientes e o rendimento da biomassa.

Segundo Thullen et al. (2008) e Wu, Lü e Yang (2006) a capacidade de purificação de água diminui após o declínio do crescimento da planta. Grande quantidade de resíduos de planta aquática como biomassa se decomporia e chega-se a deteriorar se eles não são utilizados imediatamente, o que pode resultar em poluição secundária aos sistemas de tratamento de águas.

Devido ao crescimento intenso (Figura 5), as macrófitas aquáticas podem-se tornar prejudiciais para o ecossistema, afetando a qualidade da água ou interferindo nos usos múltiplos do sistema. Quando as macrófitas passam a ocasionar problemas, surge a necessidade de aplicar métodos de controle. Segundo Esteves e Camargo (1986), as macrófitas que se encontram nas regiões tropicais apresentam crescimento durante todo o ano, pela presença de regimes térmicos e luminosos favoráveis.

Figura 5- Lagoa com elevada quantidade de macrófitas na sua superfície



Fonte: Lins (2017)

Para aplicar o controle do desenvolvimento das macrófitas o sistema deve ser encontrado infestado pelas plantas. Porém, em outros casos os métodos de controle são mais viáveis, permitindo o não aparecimento de problemas nas águas e também o controle do crescimento das macrófitas nos sistemas (POMPÊO, 2008).

A Tabela 2 cita os diferentes métodos de controle de macrófitas aquáticas segundo Pompêo (2008) e o Departamento de Ecologia da Cidade de Washington dos Estados Unidos da América (1994).

Tabela 2- Métodos de controle de macrófitas aquáticas

Métodos Físicos	Métodos Mecânicos	Métodos Biológicos	Métodos Químicos
• Poda e Coleta manual • Uso de Telas / Cobertura do sedimento • Alteração do nível de água • Tingimento da coluna de água • Aplicação de chama	• Poda e Coleta: Cortadores mecânicos / Ceifadeiras mecânicas • Rotovation • Dragagem	• Carpa capim • Fungos	• Flurodine • Glisofato • Diquat

Fonte: Pompêo (2008)

O método físico de poda e coleta manual é considerado o mais simples e indicado para lagos de pequeno porte e com infestação de macrófitas aquáticas ligeira. Neste método de controle são utilizados pás, facas e bolsas para sua retirada do ambiente e armazenagem e remoção do vegetal (POMPÊO, 2008).

No Brasil, comumente se aplicam os métodos de controle de macrófitas aquáticas quando o crescimento já atingiu níveis elevados, sendo necessária a aplicação unicamente de mecanismos corretivos.

Nos anos 50 foram utilizados lança-chamas de forma experimental em alguns reservatórios, e remoção por escavadeiras perto do Canal Pinheiros, também foram utilizados métodos químicos e biológicos. No final na década dos anos 90's, a Companhia Hidroelétrica do São Francisco (CHESF) utilizou-se a alteração do nível de água para controlar a macrófita submersa *Egeria densa*, no sistema Mocotó-Paulo Afonso (BA) (BARBOSA; GENTIL, 2009; POMPÊO, 2008).

3.4.2 Considerações sobre o descarte e aproveitamento das macrófitas aquáticas

Posteriormente da remoção das macrófitas, deve-se aplicar um descarte apropriado das mesmas. De acordo com Pompêo (2008) o descarte deve ser compreendido como um conjunto de procedimentos que visam dispor o material vegetal que é removido em locais adequados ou seu uso para distintas finalidades.

O descarte das macrófitas pode ser realizado em aterro sanitário e a biomassa removida pode ser empregada como ração de animais, fertilizante orgânico e no processo da produção de biogás. O descarte das macrófitas num aterro sanitário é regulado pela Resolução CONAMA 308/2002 (Licenciamento ambiental de sistemas de disposição final dos resíduos sólidos urbanos gerados em municípios de pequeno porte) e para o estado de São Paulo, pela Lei Estadual nº 12.300/2006 (Institui a Política Estadual de resíduos sólidos em São Paulo, revogando a Lei nº 11.387, de 27 de maio de 2003). Segundo a legislação não é necessária a construção de aterro específico para o descarte de macrófitas aquáticas, então podem ser empregados os aterros já existentes.

O uso da biomassa das macrófitas aquáticas como ração animal foi resultado de um experimento desenvolvido por Oliveira et al. (2004), não obstante segundo a literatura a macrófita não pode ser servida como dieta única, pelo fato do que seu teor de água normalmente causa diarreia nos animais, mas elas podem ser servidas

como um dos componentes da dieta alimentar, dessa maneira pode complementar a ração diária. O uso da biomassa da macrófita como fertilizante é realizada através de compostagem. Após dos processos biológicos e sob condições físicas e químicas adequadas, a decomposição do resíduo orgânico constituído pela biomassa da macrófita fornece como produto final o fertilizante orgânico. Além de reduzir à aproximadamente um 50% a massa vegetal processada, obtém-se no curto prazo um composto orgânico final bioestabilizado o qual pode ser empregado na agricultura ou disposto no solo (SOUSA, 2000).

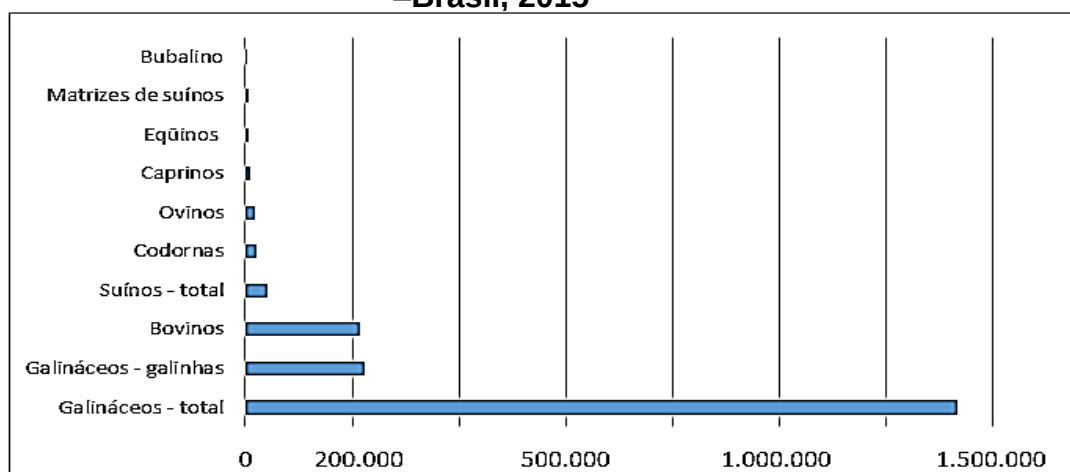
Outro tipo de uso da biomassa de macrófitas é para produção de biogás através de um biodigestor anaeróbico. Após o término da produção de biogás a biomassa restante pode ser reutilizada como fertilizante.

Segundo Müller (1995), a remoção de 14 mil t·dia⁻¹, com base na massa fresca, dos reservatórios de água dos municípios de Americana, Bariri, Billings e Barra Bonita, permitiria produzir gás metano em quantidade suficiente para abastecer 10 mil veículos, com autonomia de 300 km/dia cada um, dessa maneira demonstrando o potencial de uso das macrófitas aquáticas.

3.5 Resíduos bovinos no Brasil

As atividades agropecuárias no Brasil são hoje muito significantes (Figura 6). Em 2004 o Brasil assumiu a liderança mundial de exportação de carne, possuindo um dos maiores rebanhos bovinos no mundo. O que implica maior produção de resíduos (LIMA; LOBO, 2018).

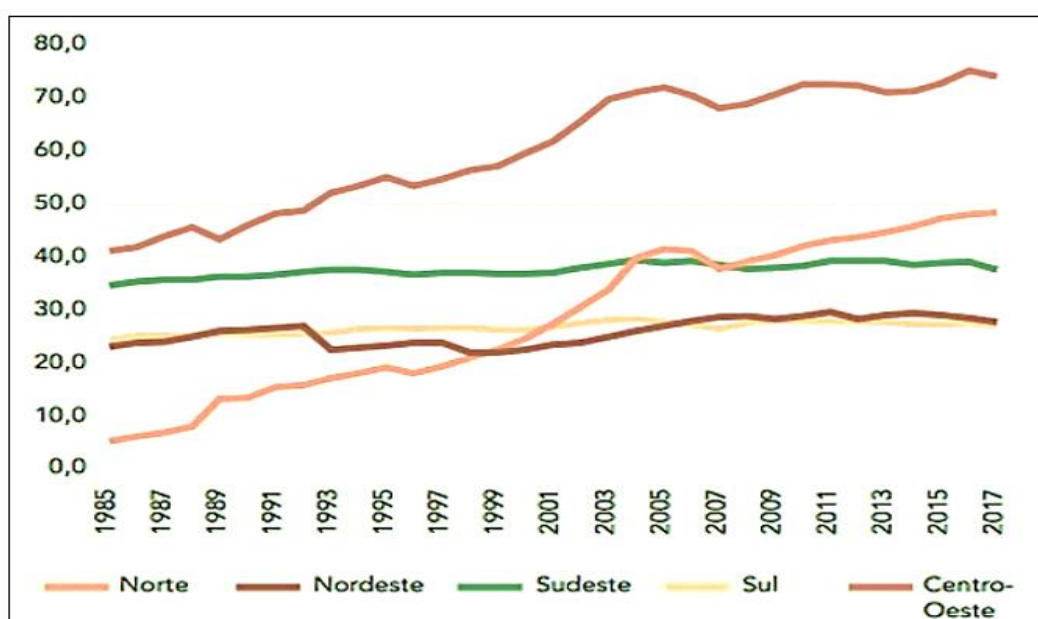
**Figura 6- Número de cabeças do efetivo da pecuária (em mil cabeças)
-Brasil, 2015**



Fonte: Adaptado de IBGE (2015)

Brasil é detentor do segundo maior rebanho de bovinos no mundo, atrás da Índia. Já em 2017 foi o segundo maior produtor de carne bovina, segundo o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos – USDA (2017). Nesse ano o efetivo de bovinos no Brasil foi de aproximadamente 214,9 milhões de cabeças, destacando-se a região Centro-Oeste do País (Figura 7) o qual corresponde a 34,5% do total nacional segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2017).

Figura 7- Evolução do efetivo de bovinos (milhões de cabeças)



Fonte: IBGE, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de Agropecuária, Pesquisa da Pecuária Municipal 1985-2017

3.5.1 Impacto ambiental dos resíduos bovinos

O crescimento do rebanho bovino acarreta uma maior produção de resíduos, os quais se não são acondicionados de uma maneira correta podem chegar a provocar impacto ao ambiente.

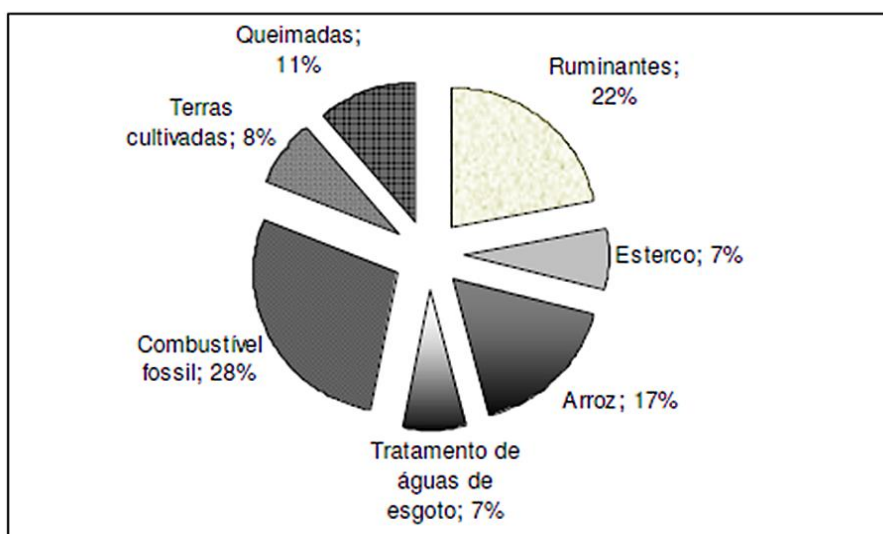
Conforme a legislação brasileira considera-se como impacto ambiental “qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas de forma direta ou indireta, é ele afeta aos seguintes pontos:

- I. A saúde, a segurança e o bem-estar da população;
- II. As atividades sociais e econômicas;

- III. A biota;
- IV. As condições estéticas e sanitárias do meio ambiente;
- V. A qualidade dos recursos ambientais (Resolução CONAMA 001, de 23 de janeiro de 1986).

Em resumo, o conceito de impacto ambiental relaciona-se exclusivamente aos efeitos das atividades humanas sobre o planeta. De acordo com Pedreira et al. (2005), devido ao processo digestivo de fermentação entérica dos ruminantes, eles são caracterizados como uma importante fonte de emissão de gás metano (CH_4) para a atmosfera (Figura 8). Atualmente, existem pressões ambientais visando reduzir a emissão de gás metano de origem pecuária. O metano é caracterizado como um importante gás de efeito estufa, segundo dados do Ministério da Ciência e Tecnologia - MCT (2000) o metano contribui com 15% para o aquecimento global.

Figura 8- Fontes Antrópicas Globais de Gás Metano



Fonte: Adaptado de Pedreira et al. (2005)

3.6 Digestão anaeróbia

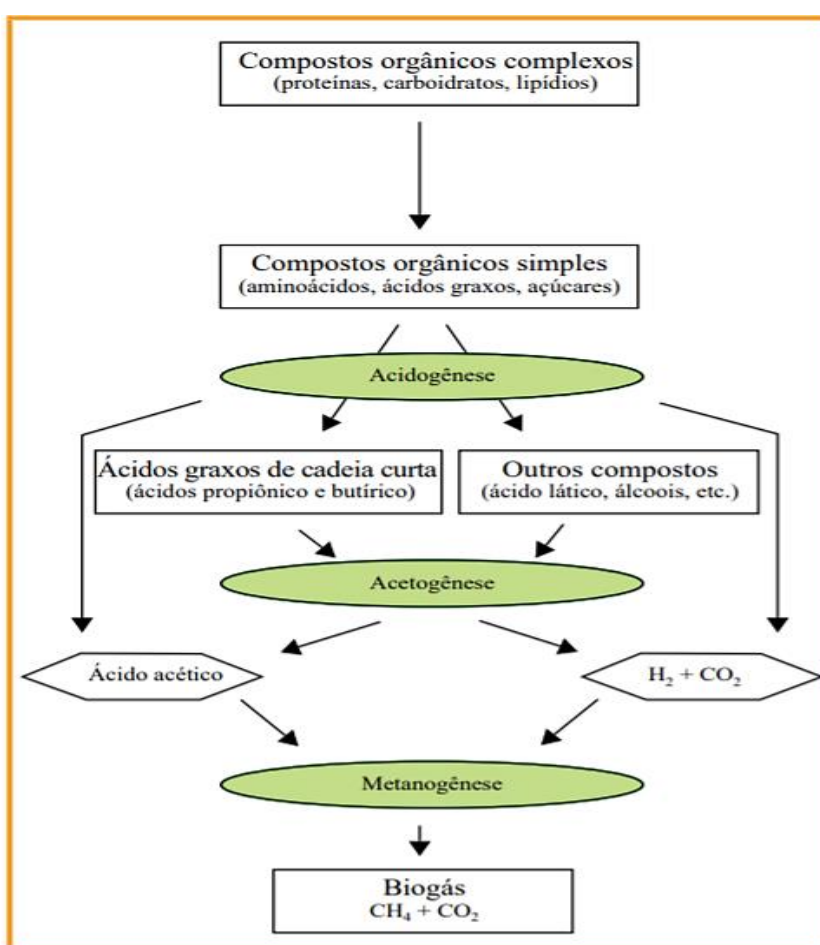
A digestão anaeróbia ou biodigestão anaeróbia é um processo biológico onde o carbono orgânico presente na matéria orgânica é transformado, após oxidações e reduções, em seu estado mais oxidado (CO_2) e em seu estado mais reduzido (CH_4) (MELLO, 2017; AHRING, 2003).

Em resumo a digestão anaeróbia é um processo no qual a matéria orgânica é decomposta em um meio com ausência de oxigênio (meio anaeróbio). O processo

origina uma mistura de gás metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2), conhecida como biogás. Esse processo ocorre na natureza, como em pântanos, lagos e também no rúmen de ruminantes (FNR 2010; KARLSSON, 2014).

Os estudos bioquímicos e microbiológicos realizados até agora, dividem o processo de decomposição anaeróbia de matéria orgânica em quatro fases ou estágios (Figura 9), os quais tem que estar perfeitamente coordenados entre si para que o processo seja realizado apropriadamente.

Figura 9- Esquema da decomposição anaeróbia



Fonte: FNR (2010).

As fases ou estágios da decomposição anaeróbia são descritas a seguir:

Hidrólise: A primeira fase é a hidrólise, onde o material orgânico deve ser quebrado em moléculas menores para que os microrganismos consigam se alimentar delas. No processo atuam bactérias hidrolíticas, cujas enzimas liberadas decompõem o material através de reações bioquímicas.

As bactérias também segregam enzimas que rompem moléculas de proteína e as transformam em aminoácidos, hidratos de carbono em açúcares simples e álcoois e graxas em ácidos graxos. A velocidade de decomposição neste processo depende do tipo de material.

Acidogênese: A segunda fase também conhecida como fase fermentativa, depende totalmente do tipo de material orgânico que é adicionado e também dos microrganismos presentes no sistema. Alguns microrganismos que estavam presentes na hidrólise continuam presentes em forma de moléculas nesta fase. Neste processo, são formados ácidos orgânicos como o ácido acético, butírico e láctico; por meio de bactérias fermentativas conhecidas como acidogênicas, além de álcoois, amoníaco, hidrogênio e dióxido de carbono. Os tipos de compostos formados nesse estágio dependem da concentração do hidrogênio intermediário, dos microrganismos disponíveis e de fatores ambientais.

Acetogênese: Nesta fase, as moléculas quebradas durante as duas fases anteriores, rompem-se em moléculas ainda menores pela oxidação anaeróbia. As bactérias acetogênicas (produtoras de hidrogênio) presentes convertem o material degradado das fases anteriores em ácido acético, hidrogênio e dióxido de carbono. Ainda assim, essas bactérias não são resistentes a grande quantidade de hidrogênio, por isso é necessário que as bactérias metanogênicas consumam o hidrogênio.

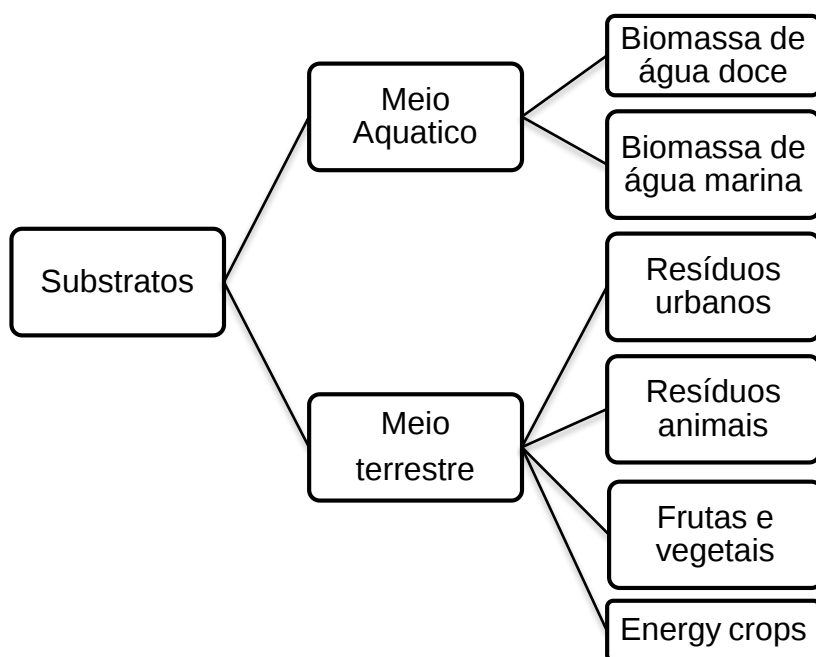
Metanogênese: Nesta última fase ocorre a formação de biogás. Os microrganismos metanogênicos, necessitam de ácido acético e CO₂ para a formação de biogás. Nesta fase também são formados dióxido de carbono e água. Nesta fase é muito importante adaptar o processo para que as bactérias metanogênicas possam apresentar bom desempenho para a geração de biogás, pelo fato que estes microrganismos são sensíveis, pois não pertencem ao mesmo grupo de microorganismos, conhecidos como Archea (FNR,2010; KARLSSON et al., 2014).

As quatro fases da decomposição anaeróbia ocorrem de maneira paralela em um processo de um único estágio. As bactérias presentes no processo têm exigências diferentes quanto ao seu habitat, tais como pH e temperatura. As condições do meio, por sua vez, influenciam a atividade microbiana, o qual implica uma influência direta nos produtos metabólicos originados (FNR, 2010).

3.6.1 Substratos para a digestão anaeróbia

O material utilizado na digestão anaeróbia para a produção de biogás é conhecido como substrato. A composição dele interfere na qualidade e quantificação de biogás produzido devido aos nutrientes e potenciais contaminantes presentes (KARLSSON, 2014). Atualmente, diversos tipos de biomassa podem ser utilizados como substratos desde que essas contenham carboidratos, proteínas, gorduras, celulose e hemicelulose (MELLO, 2017). Segundo Gunaseelan (1997) e Mello (2017), classificam os substratos passíveis de digestão anaeróbia em relação à sua origem, seja aquática ou terrestre como se apresenta na Figura 10.

Figura 10- Classificação dos resíduos passíveis de digestão anaeróbia



Fonte: Adaptado de Mello (2017)

Na produção de biogás existem substratos que tem mais potencial que outros, ou a quantidade de substrato que é utilizado no processo. Também é utilizado muitas vezes um inóculo para acelerar o processo de decomposição de material que vai ser digerido. Assim, pode existir limitantes na produção de biogás como a presença de substâncias tóxicas e lignina, os quais não são metabolizadas em um processo de digestão anaeróbia (MELLO, 2017).

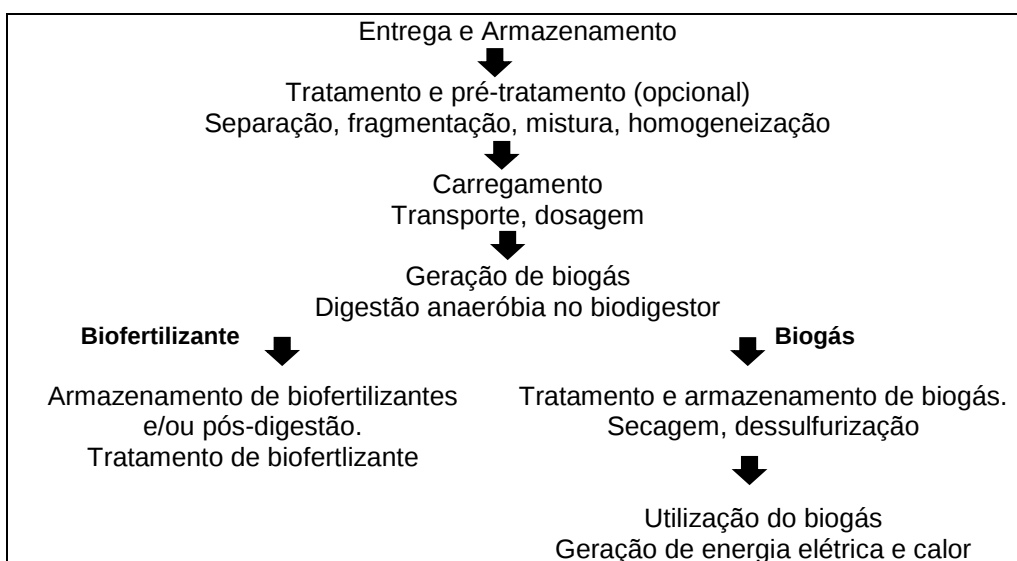
3.7 Biodigestor

Segundo Oliveira (2004), Alves, Djonathan e Barichelo (2010) biodigestor é um equipamento onde a digestão anaeróbia ou fermentação da matéria orgânica pelas bactérias presentes no sistema acontece de uma forma controlada, disponibilizando a redução do impacto ambiental e produção de uma forma de energia sustentável. O processo de decomposição de matéria orgânica resulta na produção de biogás e biofertilizante.

Conforme o trabalho de Oliveira (2004), os biodigestores tiveram seu auge entre os anos de 1970 e 1990, pelos motivos de uma legislação ambiental que cobrava aos produtores a responsabilidade com o meio ambiente e também correspondeu a busca por energias sustentáveis e de baixo custo como solução a crise de energia que estava ocorrendo no país. Também aponta que o tipo de biodigestor deve ser escolhido em função de fatores como o local onde vai ser implementado, o clima, a biomassa disponível, o conhecimento das pessoas que vão montar o sistema, o custo de implementação, a manutenção, entre outros.

Conforme com a Figura 11, a modalidade básica de operação de um biodigestor pode ser dividida em quatro etapas: Gerenciamento do substrato, geração de biogás, armazenamento de biofertilizantes e utilização de biogás e do biofertilizante. Essas quatro fases dependem de outras sub-etapas, mais alguns delas podem ser opcionais. (KARLSSON, 2014).

Figura 11- Diagrama genérico do processo de geração de Biogás



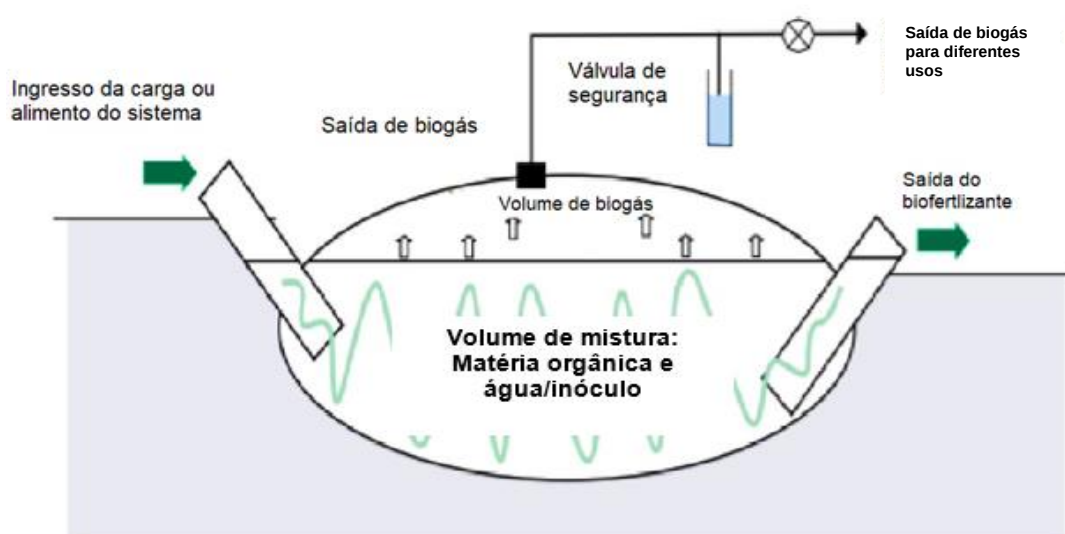
Fonte: Adaptado Karlsson (2014)

O biodigestor consiste principalmente num tanque fechado para criar um ambiente anaeróbio (ausência de oxigênio), onde os resíduos orgânicos são introduzidos e misturados com água/água residuária ou diversos tipos de inóculo, dessa forma eles são digeridos por microrganismos presentes no sistema. Muitas vezes o biogás produzido no biodigestor é armazenado no mesmo tanque, também pode ser armazenado na parte superior do tanque através de um gasômetro conforme ao uso que se deseja dar e finalmente o biogás também pode ser queimado se ele não tem um fim.

Do mesmo modo, o biodigestor está composto ao mesmo tempo por uma saída para biofertilizante, claramente se fosse necessária, e por uma entrada para alimentação do sistema (Figura 12). Para que um biodigestor opere corretamente deve seguir as seguintes características:

- I. O sistema deve ser totalmente hermético, para impedir a entrada de ar ou fugas que podem intervir na digestão anaeróbia;
- II. Manter ele numa temperatura constante, para impedir mudanças bruscas na produção de biogás;
- III. Possuir uma válvula de segurança ou uma saída para o biogás;
- IV. Ter uma boa manutenção e monitoramento (FAO, 2011).

Figura 12- Esquema básico de um biodigestor rural



Fonte: Adaptado de Marti (2008)

Conforme a FAO (2011) e Herrero (2008), os biodigestores também podem ser classificados quanto ao modo de alimentação de matéria orgânica e inóculo. Eles podem variar conforme seu uso e complexidade. Eles podem ser classificados como:

- I. Biodigestor contínuo: A carga é adicionada de maneira continua no biodigestor, o qual implica uma quantidade alta. A produção de biogás é uniforme ao longo do tempo. Eles são utilizados maiormente para aplicações industriais.
- II. Biodigestor semi-contínuo: A primeira carga introduzida no sistema é formada de uma grande quantidade de matéria prima.
- III. Biodigestor descontínuo: Eles são carregados uma única vez, após de um certo período de digestão, quando a produção de biogás cai para um nível muito baixo, eles esvaziam os biodigestores completamente e alimentam ele novamente iniciando um processo totalmente novo.

Experimentalmente, foi demonstrado que uma carga em biodigestores semicontínuos não deve superar mais de 8% a 12% do total de sólidos para garantir o bom funcionamento do processo de produção de biogás, a diferença dos biodigestores descontínuos, que possuem entre 40 e 60% do total de sólidos. Para o cálculo do volume de água a ser misturado com a matéria prima para dar a proporção sólidos adequados, é necessário conhecer a porcentagem de sólidos totais da matéria prima a ser usada, preferentemente a matéria tem que estar fresca.

3.8 Biogás

O biogás é uma mistura de gases obtidos a partir de um processo biológico. A mistura gasosa é composta principalmente de CH_4 (50-75% v/v) e CO_2 (25-50% v/v). A mistura pode também conter pequenas quantidades de hidrogênio, sulfeto de hidrogênio (0,5-2% v/v), amônia e outros gases (FNR, 2010). A composição do biogás depende do material orgânico digerido no processo de digestão anaeróbia, segundo a literatura quando o biogás tem um teor de gás metano superior a 45% ele se converte num gás inflamável (FAO, 2011). O biogás possui propriedades especificas indicadas no Quadro 1.

Quadro 1- Propriedades gerais do Biogás

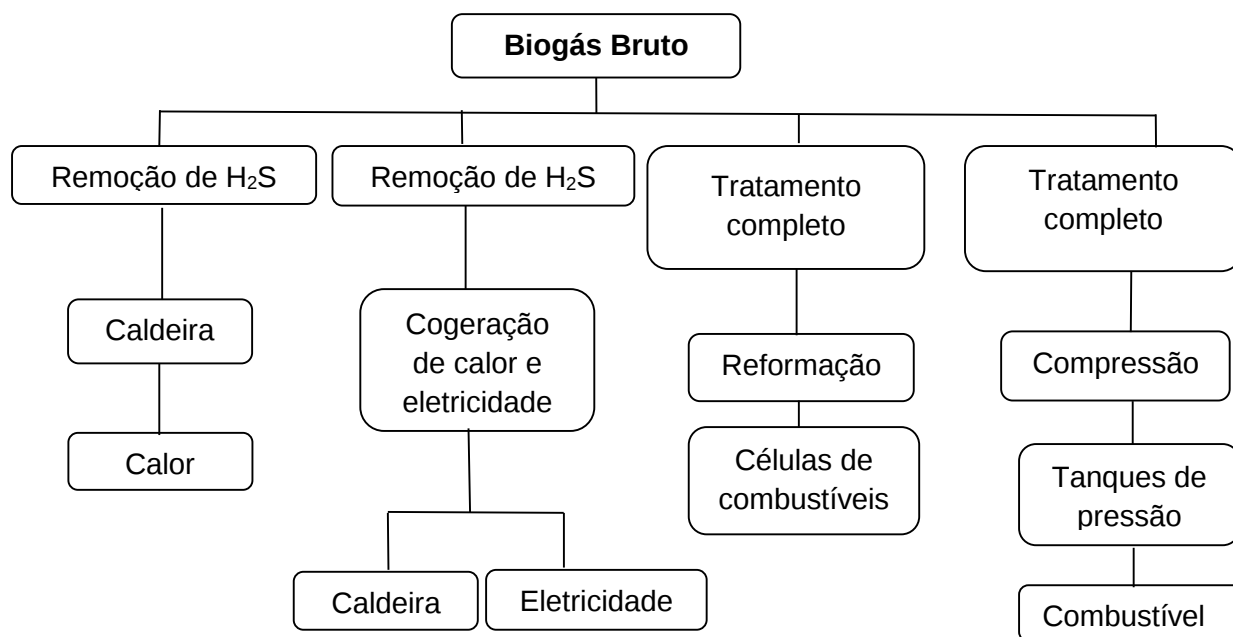
Composição	50 – 75% metano (CH ₄) 25 – 50% dióxido de carbono (CO ₂) Outros gases
Conteúdo energético	6.0 – 6.5 kW h m ⁻³
Equivalente de combustível	0.60 – 0.65 L petróleo/m ³ biogás
Limite de explosão	6 – 12% do biogás no ar
Temperatura de ignição	650 – 750°C (com o conteúdo de CH ₄ mencionado)
Pressão crítica	74 – 88 atm.
Temperatura crítica	-82.5°C
Densidade	1.2 kg m ⁻³
Massa molar	16.043 kg kmol ⁻¹
Cheiro	Ovo podre (o cheiro do biogás dessulfurado é imperceptível)

Fonte: Adaptado de FAO (2011).

O biogás na forma bruta está saturado de vapor de água, além do gás metano e do dióxido de carbono, contem quantidades de sulfeto de hidrogênio, entre outras. O Sulfeto de hidrogênio é considerado um gás tóxico e tem um odor muito desagradável (FNR, 2010). Por tanto para seu uso, o biogás deve ser purificado para aumentar o valor calorífico do biogás e atender aos requisitos de algumas aplicações de gás (motores, caldeiras, veículos, etc.).

A finalidade da purificação do biogás implica que grande parte de CO₂, vapor de água e outros gases são removidos, enquanto o gás a ser utilizados é a conversão do gás metano em hidrogênio. O trabalho da FAO (2011) apresenta uma figura com as alternativas de uso de biogás e os requerimentos para sua purificação (Figura 13).

Figura 13- Alternativas de uso de biogás e requerimentos para sua purificação



Fonte: Adaptado de FAO (2011)

Conforme a Figura 13, entre as opções para uso de biogás destacam-se a produção de calor ou vapor, geração de eletricidade e uso para combustíveis de veículos. O uso mais simples do biogás é a obtenção de energia térmica, particularmente para aqueles lugares onde outras fontes combustíveis são escassos. A energia térmica é utilizada para atividades básicas como cozinhar, em pequena escala; pode ser também usada para iluminação.

3.9 Biofertilizante

Conforme Stuchi (2015), o biofertilizante é um adubo orgânico líquido que contém organismos e nutrientes que melhoram a saúde das plantas. O líquido é o resultado da fermentação de resíduos orgânicos. Entre as vantagens do uso de biofertilizante se apresentam as seguintes:

- Proporciona uma produção de alimentos mais saudáveis
- Fortalece as plantas e ajuda na resistência ao ataque de pragas e doenças
- Melhora a produtividade das culturas
- Apresenta menor custo comparado com os fertilizantes químicos
- Reutiliza a matéria prima.

Durante a decomposição da matéria orgânica no processo da digestão anaeróbia, são liberados diversos tipos de minerais. Os biofertilizantes apresentam nutrientes como nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio, além de diferentes tipos de bioelementos temporais, essenciais para o crescimento das plantas e recuperação do solo. Em resumo, o valor nutritivo do biofertilizante depende do substrato utilizado no processo de produção de biogás (FAO, 2011).

Segundo a tese realizada por estudos do LTZ Augustenberg (Centro Tecnológico-Agrícola) que analisou biofertilizantes de usinas no Estado de Baden-Württemberg, se na geração do biogás forem utilizadas principalmente culturas energéticas (*Energy crops*), os processos biológicos com substratos são comparados com o rúmen de animais comerciais (FNR, 2010).

No Quadro 2 são apresentadas propriedades de biofertilizantes e de esterco bruto de alguns animais.

Quadro 2- Comparação dos valores característicos e propriedades de enriquecimento de biofertilizantes e adubo orgânico

Parâmetro	Unidade ou denominação	Esterco líquido bruto Esterco líquido bovino em maior parte	Biofertilizantes			
			Esterco líquido bovino e culturas energéticas	Esterco líquido suíno e culturas energéticas	Culturas energéticas	Resíduos (e culturas energéticas)
Matéria seca	% MF	9,1	7,3	5,6	7,0	6,1
Grau de acidez	pH	7,3	8,3	8,3	8,3	8,3
Relação carbono/nitrogênio	C/N	10,8	6,8	5,1	6,4	5,2
Substâncias de ação alcalina	SAA (kg CaO/t MF)	2,9	-	-	3,7	3,5
				kg/t MF		
Nitrogênio	N _{total}	4,1	4,6	4,6	4,7	4,8
Nitrogênio amoniacal	NH ₄ -N	1,8	2,6	3,1	2,7	2,9
Fósforo	P ₂ O ₅	1,9	2,5	3,5	1,8	1,8
Potássio	K ₂ O	4,1	5,3	4,2	5,0	3,9
Magnésio	MgO	1,02	0,91	0,82	0,84	0,7
Cálcio	CaO	2,3	2,2	1,6	2,1	2,1
Enxofre	S	0,41	0,35	0,29	0,33	0,32
Matéria orgânica	MO	74,3	53,3	41,4	51,0	42,0

MF: Matéria fresca

Fonte: Adaptado de FNR (2010)

O trabalho da guia prática de biogás (FNR ,2010) apresenta como conclusões do Quadro 2 que os teores de matéria seca dos biofertilizantes que apresentam uma média de 7% da MF (Matéria Seca), são inferiores só num 2% comparados aos do esterco líquido bovino, do mesmo modo que a relação C/N comparados com o esterco líquido bruto. Os teores de nitrogênio presentes nos biofertilizantes são um pouco superiores aos do esterco líquido bovino, mesmo assim que os biofertilizantes misturados com resíduos orgânicos o de esterco tendem a apresentar teores de fósforo e nitrogênio mais altos. Os valores de acidez se encontram quase na mesma faixa, tendo em conta que o valor maior de pH para o uso de um biofertilizante é de 8,5.

3.10 Modelos matemáticos aplicados na produção de biogás

Segundo os trabalhos de Oro, Sausen, Sausen P., (2017) e Goldberg (2005), o modelo matemático é um conjunto de símbolos e relações matemáticas que são aplicados para a tradução de um fenômeno ou problema de uma situação real. Em outras palavras, são representações simplificadas da realidade que são mantidas para determinadas situações. O trabalho de Castro et al., (2018) descreve que em trabalhos anteriores foram utilizados modelos não lineares para ajustar o volume de biogás produzido com dejetos bovinos, para a avaliação da atividade metanogênica específica de lodos anaeróbios. O mesmo trabalho referencia uma pesquisa que utilizou modelos não lineares para avaliar diferentes composições de material de abastecimento de uma rede de biodigestores. Modelos não-lineares são aqueles em que pelo menos uma das derivadas do modelo em relação aos parâmetros depende dos parâmetros, portanto, não é possível afastar os parâmetros e obter uma solução explícita para o sistema. Para resolvê-lo, recorre-se ao uso de métodos numéricos iterativos.

4 MATERIAL E MÉTODOS

A Classificação climática de Botucatu caracterizado pelo método de Köppen é definido como Cfa, clima temperado quente (mesotérmico) úmido, com temperatura média do mês mais quente superior a 22°C. A precipitação média anual e temperatura média anual são respectivamente, 1.508,8 mm e 21°C (CUNHA; MARTINS, 2009).

4.1 Obtenção e processamento de Taboa

4.1.1 Área de Coleta

A Taboa utilizada nesta pesquisa foi coletada na Fazenda Experimental Edgardia localizada na região da Cuesta no Município de Botucatu (Figura 14), em coordenadas geográficas 22° 47' 30" a 22° 50' Sul, e 48° 26' 15" a 48° 22' 30" Oeste (BLANCO; SARTORI, 2002).

Figura 14- Taboa na área de coleta da Fazenda Experimental Edgardia



Fonte: Autoria própria

O replantio das macrófitas no SACs foi realizado no dia 04/11/2018 (Figura 16). No período de fixação da macrófita os SACs ficaram saturados com água residuária pública e após o estabelecimento da espécie vegetal foi iniciada a aplicação de água residuária proveniente da Estação de Tratamento de Efluentes-ETE Lageado, no mesmo dia.

4.1.2 Plantio de Taboa em Sistemas de Alagados Construídos

O SACs com a Taboa foi desenvolvido na área do Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agronômicas – FCA, da Unesp - Botucatu, SP, com coordenadas geográficas: 22° 51' 9,55" Sul e 48° 25' 49,55" Oeste, com uma altitude de 782 metros acima do nível do mar (Figura 15).

Figura 15- Área da localização do SACs



Fonte: Autoria própria

O SACs foi composto por três leitos instalados em paralelo. Cada leito foi composto de quatro caixas d'água ligadas em série por tubulação de PVC de 50 mm. As caixas são de fibra de vidro de forma retangular, cada uma com capacidade aproximada de 100 litros com as seguintes medias: 100 x 35 x 31 cm. Foi utilizado como material de suporte brita #0, cada caixa foi preenchida com o material de suporte até a altura de 30 cm. Foram plantadas três pês de Taboa (*Typha latifolia*,) por caixa de água. As macrófitas permaneceram plantadas no SACs, alimentadas por água residuária por 90 dias, entre períodos de 04/11/2018 e 04/02/2019.

Figura 16- SACs no dia do plantio das macrófitas



Fonte: Autoria própria

4.1.3 Origem da água residuária

O efluente utilizado foi proveniente da Estação de Tratamento de Esgoto de Botucatu e transportado por um carro pipa até a área experimental, o efluente era armazenado em caixas d'água de 1000 litros (Figura 17).

Figura 17- Caixas de distribuição de efluente



Fonte: Autoria própria

4.1.4 Preparo da Taboa picada úmida para uso como substrato em Biodigestores

Após coleta e plantio a Taboa foi preparada para ser usada como substrato em biodigestores. Para isso a Taboa foi colhida desde a raiz e medida em seu comprimento total (Figura 18). O preparo da solução de Taboa foi realizado conforme a literatura dos trabalhos de Adelere et al. (2017) e Jiang et al. (2019). Todas as macrófitas coletadas foram limpas para remoção de sólidos e lavada em água corrente até remover resíduos de solo. Em seguida a Taboa foi cortada em pedaços pequenos (entre 2 e 3 cm de comprimento) utilizando facão (Figura 19). A redução de tamanho da macrófita foi feita para favorecer o processamento em pedaços menores. A massa total de pedaços de macrófita gerou um total de 1,034 Kg de massa de Taboa fresca. Os pedaços cortados foram processados em liquidificador (Electrolux Easypower BEE21 com uma potência de 700 Watts) com auxílio de 10 mL de água destilada até que a massa se tornasse homogênea.

Figura 18- Comprimento da Taboa colhida



Fonte: Autoria própria

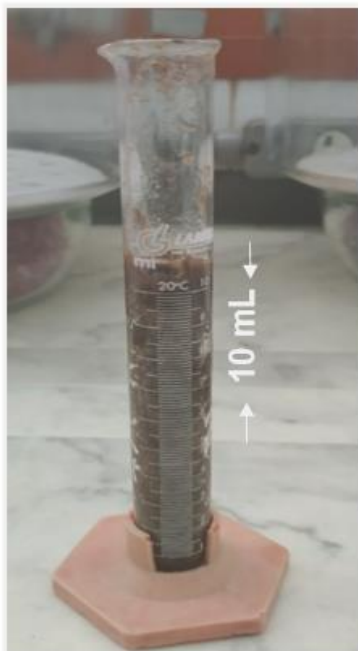
Figura 19- Taboa cortada em pedaços de 2 a 3 cm de comprimento



Fonte: Autoria própria

Para determinação de massa seca de Taboa um total de cinco cadinhos de porcelana foram utilizados para determinação de massa seca da mistura de Taboa úmida e água. Em cada um deles foram adicionados 10 mL de Taboa fresca. Medidos com o auxílio de uma proveta (Figura 20). Os cadinhos foram levados para estufa de ar forçado Odontobrás modelo EL 1.6 com uma potência de 2000 W a uma temperatura de 65-68°C até peso constante pelo período de 72h.

Figura 20- Taboa triturada na proveta (10 mL)



Fonte: Autoria própria

4.1.5 Determinação Bromatologia da Taboa

Para a determinação da composição bromatológica foram realizados cortes de aproximadamente 5 cm na porção do palmito da Taboa segundo trabalhos de Pompêo (2008) e Jiang et al. (2014). A Taboa cortada foi levada à estufa de secagem (Figura 21).

Figura 21- Corte e secagem da Taboa



Fonte: Autoria própria

A amostra de Taboa seca foi analisada pelo Laboratório de Bromatologia do Departamento de Melhoramento e Nutrição Animal, da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Unesp, Botucatu–SP.

4.2. Origem e preparo do Inóculo para produção de Biogás

O pré-inóculo utilizado neste experimento foi obtido de um biodigestor bovino em funcionamento, localizado em propriedade rural na cidade de São Pedro-SP. Para manter atividade produtiva do inóculo bovino, cada volume de 1000 mL de inóculo foi alimentado com 100 mL de dejetos de gado que foi misturado com água destilada e peneirado numa peneira simples de 2mm para este consiga-se homogeneizar com o pré-inóculo (Figura 22) obtido do Setor de Bovinocultura da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Unesp, Botucatu-SP.

Figura 22- Inóculo de biodigestor em funcionamento e dejetos bovinos



Fonte: Autoria própria

O inóculo foi enviado em estado líquido para o laboratório de solos no departamento de Solos e Recursos Ambientais localizado na Fazenda Experimental Lageado, Botucatu- SP para determinação de NPK.

4.3 Produção de Biogás

O volume de biogás foi determinado de forma diária através de um aparelho de captação formado por um kitassato e uma proveta conectados com uma mangueira de silicone, segundo a Figura 23.

Figura 23- Sistema para medições do volume de Biogás produzido



Fonte: Autoria própria

4.3.1 Preparo dos meios de cultura

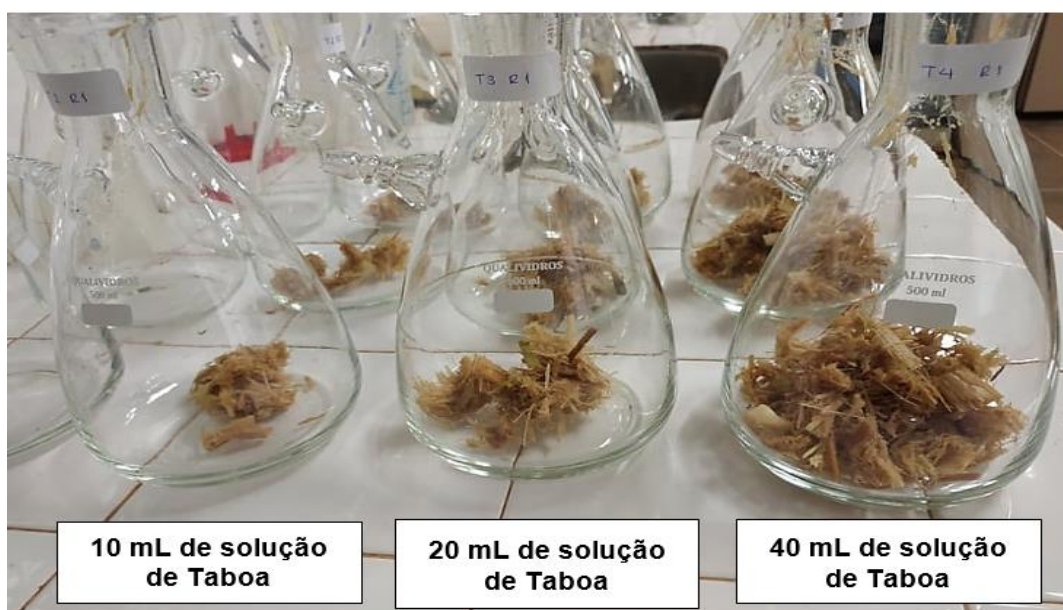
O preparo dos meios de cultura para a produção de biogás foi executado conforme a Tabela 3. Se usaram diferentes proporções de inóculo bovino já preparado, também foi adicionada Taboa fresca triturada para a produção de biogás. Foi realizada uma mistura dos meios para os testes de produção de biogás, variando entre 0 e 1,47 g·L⁻¹ de Taboa seca triturada por litro de meio de cultura.

Tabela 3- Formulação de meio de cultura para produção de Biogás

Tratamento	Volume Inóculo (mL)	Volume de Taboa triturada (mL)	Volume final (mL)	Massa seca de taboa adicionada (g)	Concentração de substrato no meio (g·L ⁻¹)
1	200	0	200	0,00	0,00
2	200	10	210	4,70	0,42
3	200	20	220	9,09	0,80
4	200	40	240	16,67	1,47

A seguir mostra-se a quantidade de substrato adicionado em cada kitassato para os testes de produção de biogás (Figura 24) e a mistura completa dos meios de cultura formulados, cada frasco biodigestor foi etiquetado respectivamente.

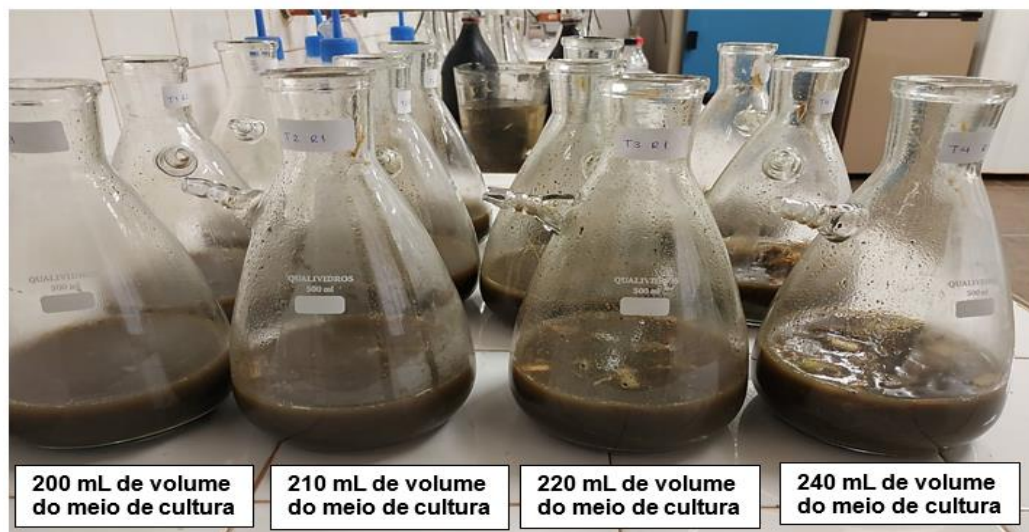
Figura 24- Volume de solução de Taboa triturada



Fonte: Autoria própria

Na Figura 25 observam-se os frascos contendo o volume final do meio de cultura (Solução de Taboa triturada e inóculo preparado) antes de colocar na estufa incubadora. Antes de serem colocados na estufa, cada Kitassato foi batida para sua homogeneização.

Figura 25- Volume final do meio de cultura (mL)

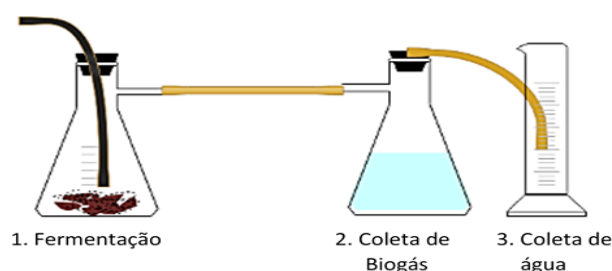


Fonte: Autoria própria

4.3.2 Aparato para produção de biogás

O esquema do sistema do biodigestor a escala laboratorial utilizado é mostrado na Figura 26, é composto por um Kitassato de 500 mL para a biodigestão anaeróbia, um Kitassato de 1000 mL com água para coleta de biogás e uma proveta para a coleta da água que dá o resultado da produção do biogás. Os vidros foram selados usando rolhas de borracha e conectadas com mangueira de látex. O experimento foi realizado na estufa incubadora a uma temperatura de 37°C por um período de 40 dias. Se montaram um total de 12 vidros (Figura 27), se realizaram quatro tratamentos, cada um com três repetições. Se colocou um sensor de temperatura (Sensor de Temperatura DS18B20 a Prova D'água) para monitorar a temperatura de cada kitassato com a mistura de Taboa com o inóculo. A montagem do sistema foi baseada no trabalho de Jiang et al. (2014).

Figura 26- Esquema do aparato para produção de Biogás



4.3.3 Medições da produção de biogás

O volume de biogás produzido em cada frasco foi medido em mililitros diariamente através da proveta que estava conectada ao kitassato com água, também a temperatura de cada frasco foi medida diariamente. Na Figura 27 observa-se que os biodigestores foram distribuídos uniformemente na estufa, de maneira que todos chegaram a ter a mesma temperatura.

Figura 27- Frasco utilizado como biodigestor



Fonte: Autoria própria

4.4 Caracterização de Biofertilizante

A mistura do material residual de todos os tratamentos executados foi considerada como o biofertilizante (Figura 28), se realizou o análise de pH, Nitrogênio total em relação à porcentagem de matéria seca da Taboa, matéria orgânica em relação à porcentagem de matéria orgânica e a relação C/N presente nesta mistura. A análise foi realizada no Laboratório de Análises Agrícolas e Ambientais Ltda.-AGRILAB.

Figura 28- Biofertilizante restante



Fonte: Autoria própria

4.5 Análise de resultados

A avaliação da eficiência do sistema foi determinada na produção de biogás em cada tratamento, conforme as variáveis de volume produzido de biogás (mL), a temperatura (°C) e o percentagem de substrato (%) calculado para cada tratamento realizado. Para a construção dos Gráficos resultantes da modelagem matemática, a velocidade acumulada e o volume de acumulado de produção de biogás, foram utilizado os programas Microsoft Excel e Origin (versão 8.0725).

4.5.1 Modelagem matemática

Os dados empíricos foram ajustados em três diferentes modelos matemáticos de crescimento através do software Origin (versão 8.0725). 40 pontos de volume acumulado de biogás para cada uma das três replicatas para cada um dos quatro tratamentos foram ajustadas às equações de Boltzmann (1), Logístico (2) e Gompertz (3), descritos como as Equações 1, 2 e 3 abaixo:

$$y = \frac{A1-A2}{1+e^{(x-x_0)/dx}} + A2 \quad \text{Equação (1)}$$

$$y = \frac{A1-A2}{1+(\frac{x}{x_0})} + A2 \quad \text{Equação (2)}$$

Em que, y o volume de biogás acumulado nos 40 dias de cultivo; $A1$ Assíntota inferior ou tendência inicial que indica o volume de biogás produzido ou não no momento da instalação do sistema; $A2$ Assíntota superior ou tendência final, o qual indica o volume máximo de biogás acumulado pelo sistema; x é o ponto de inflexão, conhecido como o momento onde acontece a máxima quantidade de liberação de biogás; x_0 é a variável de dias de cultivo e finalmente dx é a inclinação da curva no eixo x , onde indica a máxima liberação de biogás.

$$y = ae^{-e^{-k(x-x_c)}} \quad \text{Equação (3)}$$

Em que ae é a assíntota superior; $-k$ é a inclinação na curva no x_c ; onde x_c é o ponto de inflexão, mencionado anteriormente, é onde acontece a máxima liberação de biogás. Os modelos foram escolhidos com base em trabalhos da literatura sobre produção de biogás (CASTRO et al., 2018).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Taboa ficou nos SACs por um período de 90 dias, alcançando um comprimento aproximado de 1,80 m. Na Figura 29 observa-se o crescimento da Taboa nos 60 dias após o replantio.

Figura 29- Macrófitas 60 dias após o replantio



Fonte: Autoria própria

5.1 Resultados da determinação da matéria seca da Taboa

A massa seca de Taboa na solução de Taboa fresca triturada foi determinada pela secagem em cadinhos de porções definidas até peso constante. Na Figura 30 observa-se a Taboa seca nos cadinhos e na Tabela 4 apresenta os dados do teste.

Figura 30- Taboa seca nos cadinhos



Fonte: Autoria própria

Tabela 4- Determinação da Taboa seca triturada

Nº	MASSA CADINHO	TABOA ÚMIDA	TABOA SECA	% MASSA SECA	% ÚMIDADE
1	55,947	7,5562	0,6429	0,0851	0,9149
2	58,425	9,4847	0,8587	0,0905	0,9095
3	63,7865	9,8384	0,8197	0,0833	0,9167
4	55,5977	9,0391	0,8048	0,0890	0,9110
5	54,9134	8,2097	0,7534	0,0918	0,9082
			Media	0,0879	0,9121
			Desvio	0,0032	0,0032
Portanto:			10 mL	0,0879	g Taboa
			20 mL	0,1758	g Taboa
			40 mL	0,3516	g Taboa

A determinação de massa seca a partir da amostra de Taboa colocada nos cadinhos foi realizada segundo a Tabela 4, onde a porcentagem da massa seca é o resultado da divisão entre a Taboa seca na capsula ou cadinho e a Taboa úmida. Para a obtenção das gramas de Taboa em cada tratamento foi utilizado o volume final do meio de cultura.

5.2 Caracterização Bromatológica da Taboa

Segundo os resultados da análise bromatológica da macrófita (Tabela 5), a porcentagem de minerais está correta para a espécie vegetal. A lignina apresenta alta porcentagem por ser uma espécie de planta aquática. O qual significa que ao ser substancias nitrogenadas com porcentagem um pouco altos para espécies vegetais, são de difícil degradação ou decomposição. A Taboa é um material muito fibroso, sua fibra estrutural contem muita lignina, apresentando como resultado um alto conteúdo mineral especialmente se é usado o talho da planta.

Tabela 5- Resultados da análise bromatológica da Taboa

Informações sobre a amostra	% MS	% PB	% MM	% FDN	% FDA	% Hemice lulose	% Cel	% Lig	% EE
Taboa seca	92,21	4,42	10,73	71,15	52,66	18,49	9,72	41,92	0,35

OBS: Resultado expresso em 100% da matéria seca

MS: Matéria seca, **PB:** Proteína bruta, **MM:** Matéria mineral, **FDN:** Fibra detergente bruto, **Cel:** Celulose, **Lig:** Lignina, **EE:** Extrato éter.

Com relação a composição química da Taboa (Tabela 6), e comparativamente equivalente a outras plantas aquáticas enraizadas, que crescem em reservatórios ou SACs, mas apresenta teores um pouco altos de Ca e Mg, possivelmente como resultado da carga da água residuária tratada.

Tabela 6- Composição química da Taboa

Amostra	N (g·L ⁻¹)	P	K	Ca	Mg	S
		(g·L ⁻¹)				
Taboa	16	2,3	22	8	2,1	0,9

A Tabela 7 apresenta teores similares aos inóculo produzidos nos biodigestores conformados de dejetos bovinos, o qual significa que o inóculo se manteve até o uso dele no experimento.

Tabela 7- Caracterização do inóculo

Amostra	N (g·L ⁻¹)	P ₂ O ₅	K ₂ O
		(g·L ⁻¹)	
Inóculo	0,88	0,31	0,95

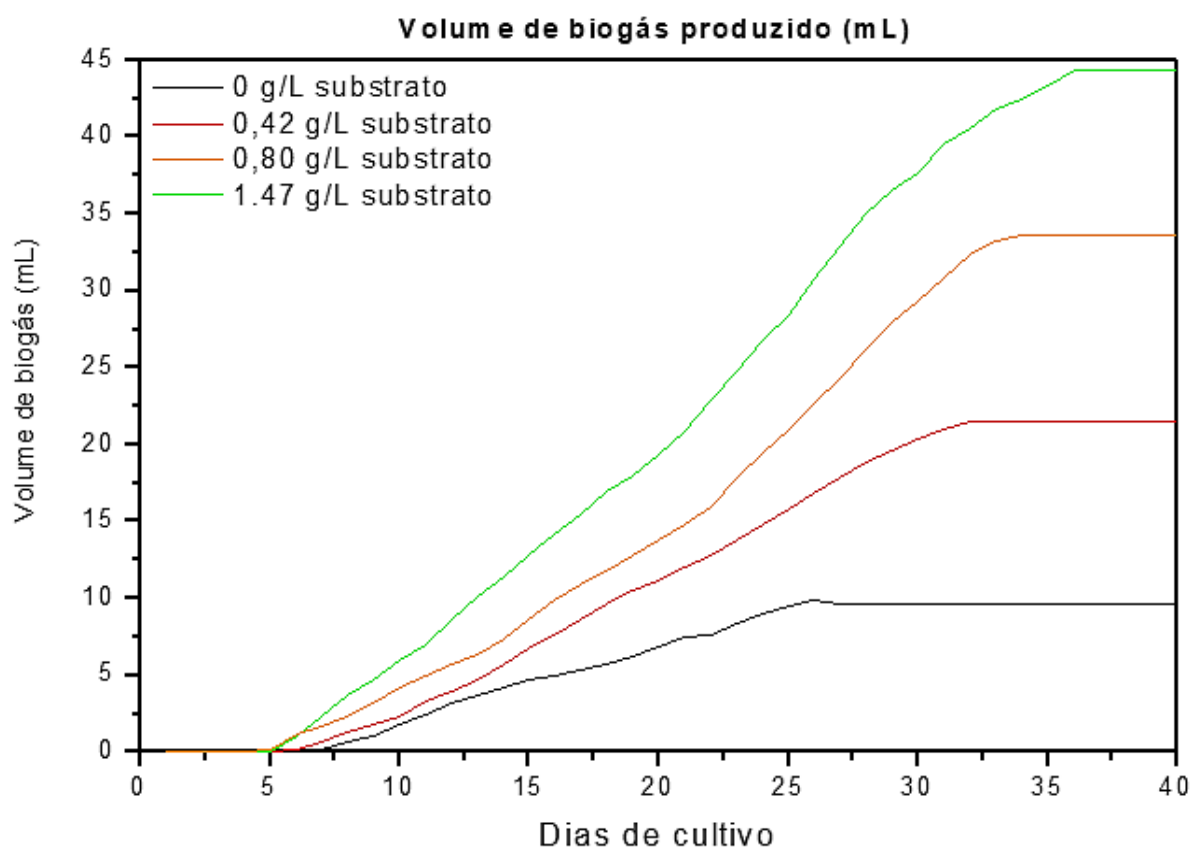
5.3 Produção de biogás

A produção de biogás foi produzida em batelada descontínua, com o preparo do meio de cultura semi-sólido contendo diferentes quantidades de Taboa. O volume de água deslocada pelo sistema foi medido em mililitros diariamente nos

períodos de 14:00 e 15:00 horas aproximadamente, correspondente à produção instantânea.

A produção estabilizou-se após 31 dias de operação. Segundo os resultados a geração de biogás para o tratamento 1 foi até 18 dias, para o tratamento 2 de 25 dias, para o tratamento 3 de 27 dias e finalmente a produção de biogás para o tratamento 4 foi de 31 dias. Segundo o Gráfico 1 o volume foi crescente para todos os tratamentos, é possível notar que, para o tratamento contendo $1,47 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ de Taboa (Tratamento 4), o volume de biogás produzido chegou até aproximadamente 45 mL no dia 31 de cultivo.

Gráfico 1- Média do Volume de Biogás produzido (mL)



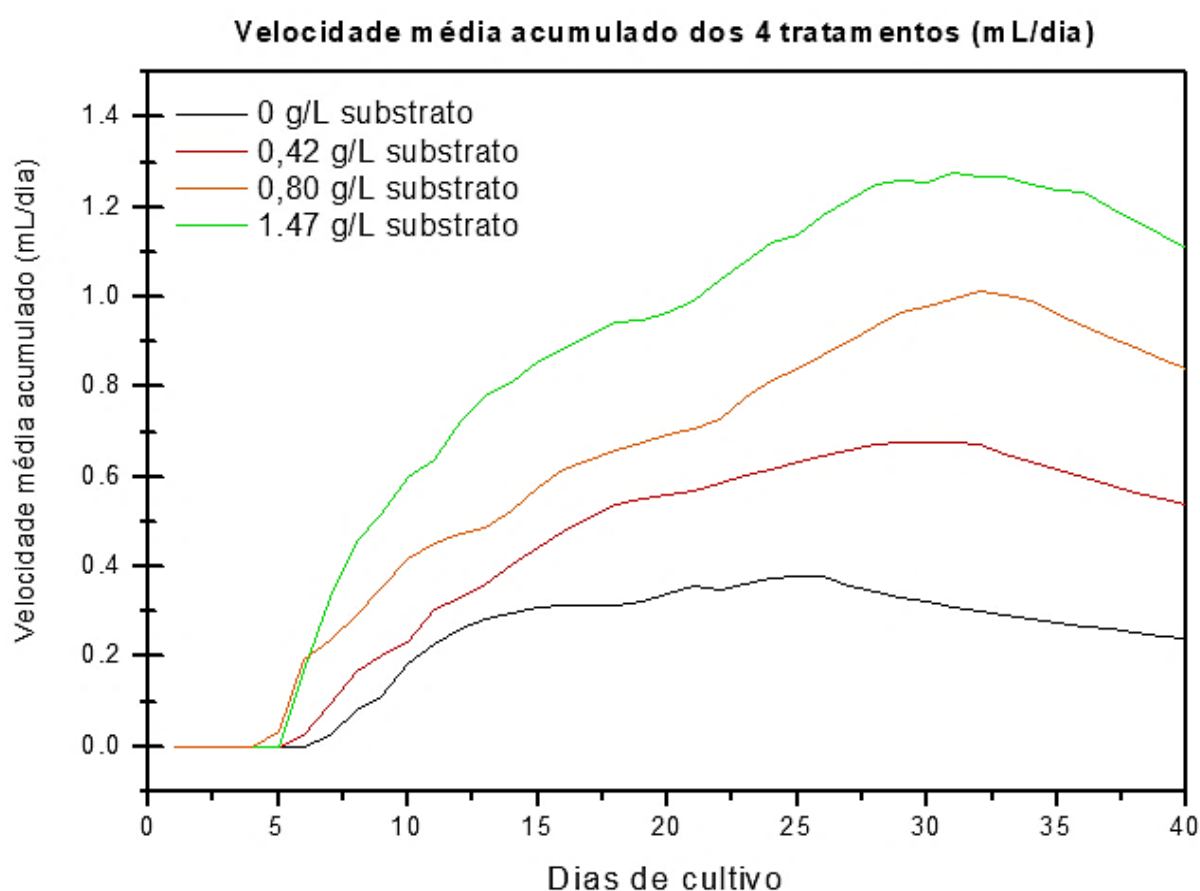
5.4 Velocidade média da produção de biogás

Observa-se no Gráfico 2, que a velocidade do acumulado de biogás do tratamento 4 com concentração de substrato no meio de $1,47 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ foi a mais crescente ao longo dos dias de cultivo, até aproximadamente o dia 33, após desse dia a velocidade é decrescente.

Ao comparar as curvas de velocidades acumuladas no Gráfico 2, a velocidade do tratamento 4 foi muito maior. Para o tratamento 3 com uma concentração de substrato no meio de $0,80 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ o ponto de maior velocidade foi no dia 32, sendo decrescente após esse período. No tratamento 2 com concentração de substrato de $0,42 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ a velocidade maior chegou no dia 28, se manteve estável nos próximos 4 dias e depois a velocidade foi decrescente; por enquanto no primeiro tratamento com uma concentração de $0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ de substrato a velocidade maior chegou no dia 25, após foi decrescente. A velocidade foi crescente para o tratamento 4 a partir do dia 4, superando aos demais tratamentos, chegando a uma velocidade média acumulada de $0,4 \text{ mL}\cdot\text{dia}^{-1}$ entre o dia 5 até o dia 7.

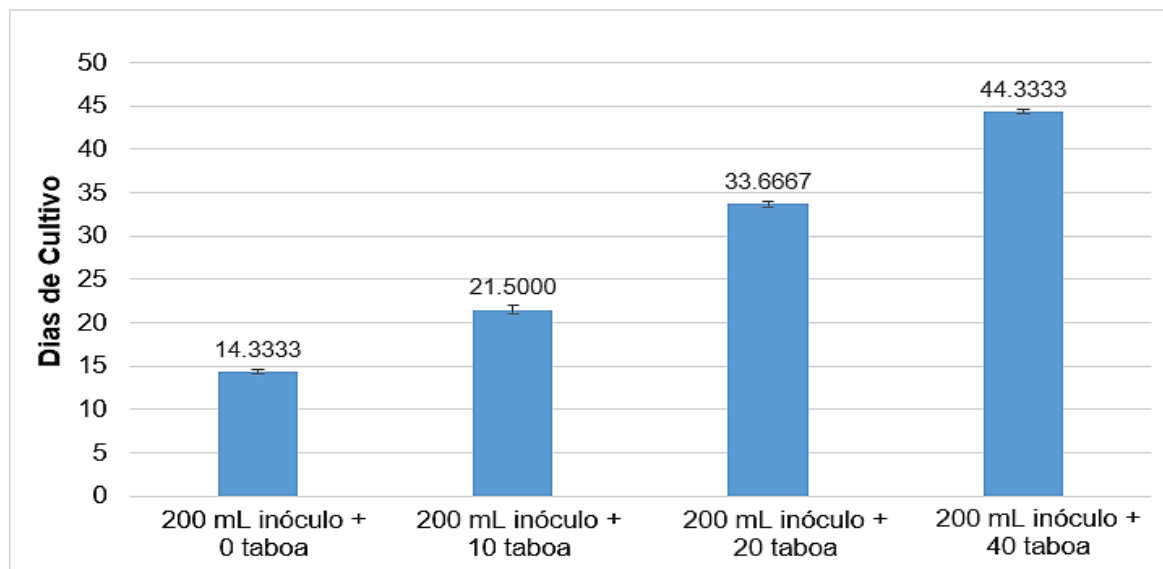
Segundo a curva do tratamento 4 a velocidade média acumulado máxima chegou entre os dias 30 a 35 e foi de $1,2 \text{ mL}\cdot\text{dia}^{-1}$, em quanto do tratamento 1 a máxima chegou no dia 25 é foi de $0,5 \text{ mL}\cdot\text{dia}^{-1}$.

Gráfico 2- Velocidade média acumulado dos quatro tratamentos



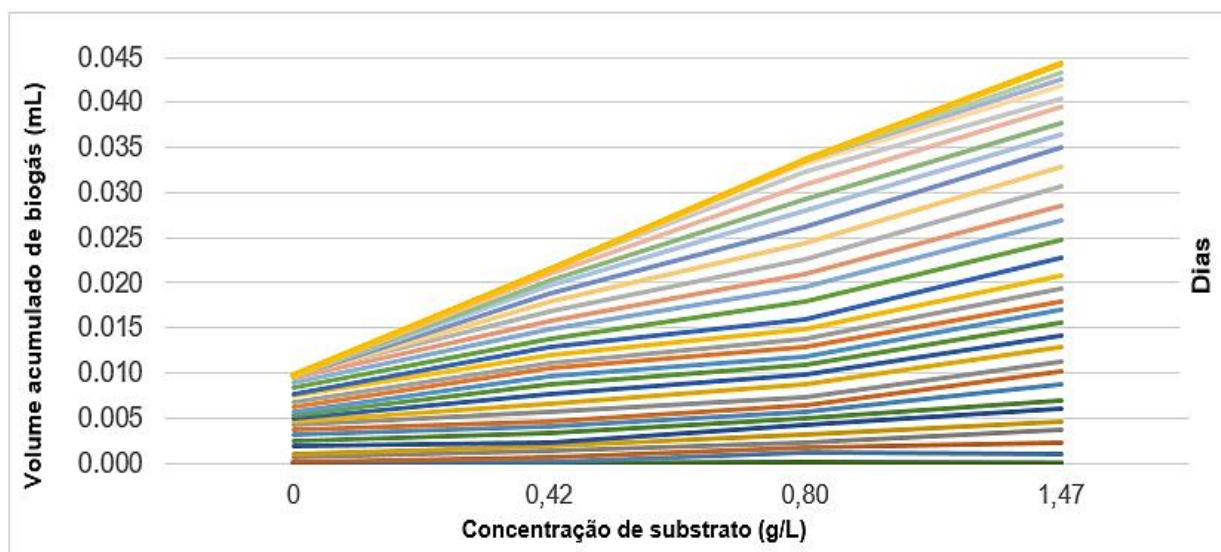
Segundo o Gráfico 3 podemos apreciar quais são as medias é os desvios padrão entre todos os tratamentos 1 e 4 para produção de biogás.

Gráfico 3- Gráfico de barras da soma de produção de Biogás acumulado



No Gráfico 4 pode-se observar que a produção foi maior quando o meio de cultura era composto por $1,47 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ de substrato, alcançando a maior produção instantânea, de $0,045 \text{ mL}$ no dia 36.

Gráfico 4- Produção de biogás em função da concentração de substrato e o volume acumulado de Biogás



5.5 Resultado de biofertilizante

O resultado da análise do biofertilizante resultante do processo de digestão anaeróbia apresentado na Tabela 8, foi comparado com os resultados do trabalho de López (2012). Os resultados indicam que o pH do biofertilizante deve estar entre a faixa dos 5,0 e 8,5. Neste trabalho foi obtido biofertilizante com pH igual a 8,5 sendo, portanto, dentro da faixa adequada.

A relação C/N é alta comparando, por exemplo, com os dados no esterco bruto bovino que se apresenta no Quadro 2, o resultado de 180,4 C/N indica que apresenta um conteúdo baixo de nitrogênio que segundo diversas fontes bibliográficas pode ser assemelhado com o material de cana de açúcar, o qual dá para entender que a velocidade de decomposição da Taboa foi um pouco lenta. O conteúdo de nitrogênio total deve ser igual ou maior a 0,5%, expressado sobre a matéria seca presente, neste caso a matéria que a Taboa apresentou foi de 92,21% aproximado com a porcentagem de matéria seca que apresenta a macrófita *Lechuguin Eichornia Crassipes*.

O resultado da matéria orgânica foi baixo, segundo os estudos referentes ao trabalho pode ser apresentado interferências na degradação pelo motivo da mistura com inóculo ou pelo motivo de que a Taboa demora mesmo para se degradar. Por enquanto não foi possível realizar uma análise microbiológica no biofertilizante, por isso não se pode afirmar se o uso do biofertilizante é viável, mas os parâmetros analisados estão dentro das faixas conforme o trabalho citado.

Tabela 8- Resultado da análise de biofertilizante

Amostra	pH	Nitrogênio total (%MS)	Matéria orgânica (%MS)	Relação C/N
Biofertilizante	8,5	4,1	19,60	180,4

Na Tabela 9 são apresentados trabalhos que foram utilizados de referência para o desenvolvimento do trabalho atual usando biomassa vegetal como substrato, geralmente macrófitas para a produção de biogás e/ou biofertilizantes.

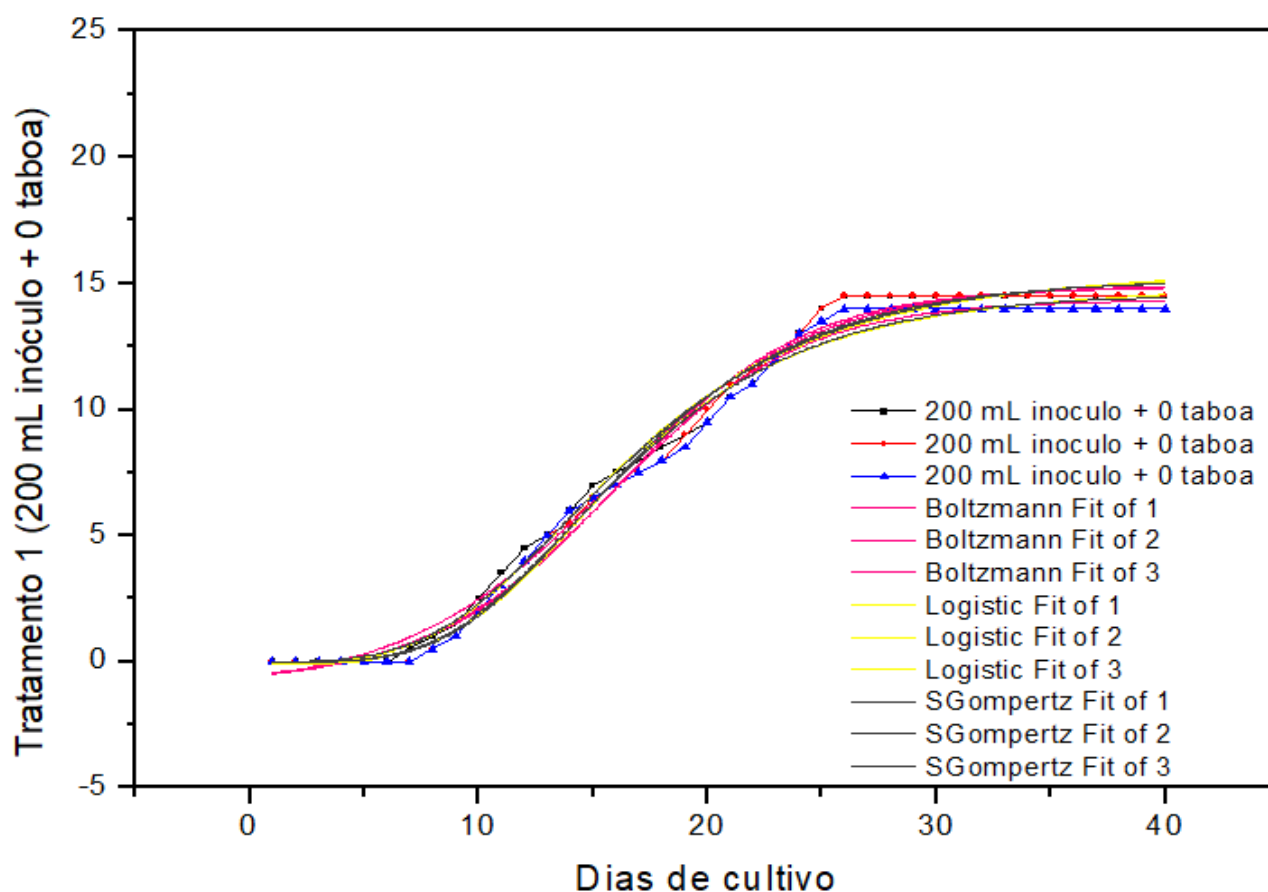
Tabela 9- Levantamento de trabalhos científicos usando biomassa vegetal como fonte de nutrientes para produção de Biogás

Nº	Fonte Vegetal	Inóculo	Tempo	Gás avaliado	Método medição	Autor
1	7 macrófitas de SACs	Biodigestor de uma fazenda de suínos	30 d	Biogás	Método de coleta através de Kitassato	JIANG, X. et al., 2014.
2	4 macrófitas de SACs	-	60 d	Biogás	Reservatório de gás a escala com água	GIZIŃSKA-GÓRNA, M.; CZEKAŁAB, W.; JÓZWIAKOWSKIA, J., 2016.
3	Taboa (<i>Typha domingensis</i>) coleta de um lago	Microrganismos do intestino de baratas americanas	60 d	Biogás	Coleta de biogás em sacos de polietileno reforçado, se usou uma seringa plástica de 100 mL	MSHANDETE, A. M, 2009.
4	2 macrófitas de SACs	Mistura de material de reatores com esterco e lodo da ETE de indústria de papel e celulose	42 d	Biogás	Garrafas batch e uso de seringa	ALVINGE, S., 2010.
5	3 macrófitas de SACs	-	128 d	Metano	Biodigestor com analisador de gases (GFM 406 series)	ADELERE, E. A.; UDUOGHENE, B. O., 2017.
6	Lechuguín (<i>Eichhornia crassipes</i>) coleta de um rio	-	45 d	Biogás e biofertilizante	Câmara de ar de pneu (18 mL)	LÓPEZ, D., 2012.
7	Mistura de biomassa de várias macrofitas coletadas de uma lagoa	Água de uma estação de tratamento de esgoto	41 d	Biogás e Potencial bioquímico do metano (BMP)	Garrafas Batch num cromatógrafo de gases	PUGLIESE, A.; BIDINI, G.; FANTOZZI, F., 2015
8	3 macrófitas de tanques de concreto	Água do rio Ganga	365 d	Biogás e valor calorífico	Reator de 5 litros de vidro selado com uma borracha rolha a traves da qual um tubo de vidro foi conectado. Se realizou queima do biogás.	TAHERUZZAMAN, Q.; KUSHARI, D. P., 1989.

5.6 Modelos matemáticos

Curvas de ajuste foram feitas, conforme os modelos matemáticos apresentados com os dados coletados para cada tratamento (volume de biogás produzido), estas curvas são apresentadas nos Gráficos 5, 6 e 7. Os ajustes das equações não lineares com os dados do trabalho apresentaram resultados positivos. Todos os ajustes matemáticos apresentaram coeficientes de determinação de aproximadamente 0,99 (R^2 quadrado ajustado).

Gráfico 5- Curva ajustada dos volumes acumulados de biogás dos três modelos matemáticos utilizados com os dados do Tratamento 1 (200 mL de inóculo sem presença de Taboa)



O parâmetro A_2 , presente nos modelos de Boltzmann e Logístico, é importante, pois indica o ponto de maior produção de biogás (mL). O Gráfico 6 apresenta uma estabilização na curva com os três modelos utilizados a partir do dia 25 até o final do tempo de cultivo (dia 40).

O Quadro 3 indica os índices gerados nos três modelos matemáticos. Se apresentaram valores negativos para a variável A1 no modelo de Boltzmann.

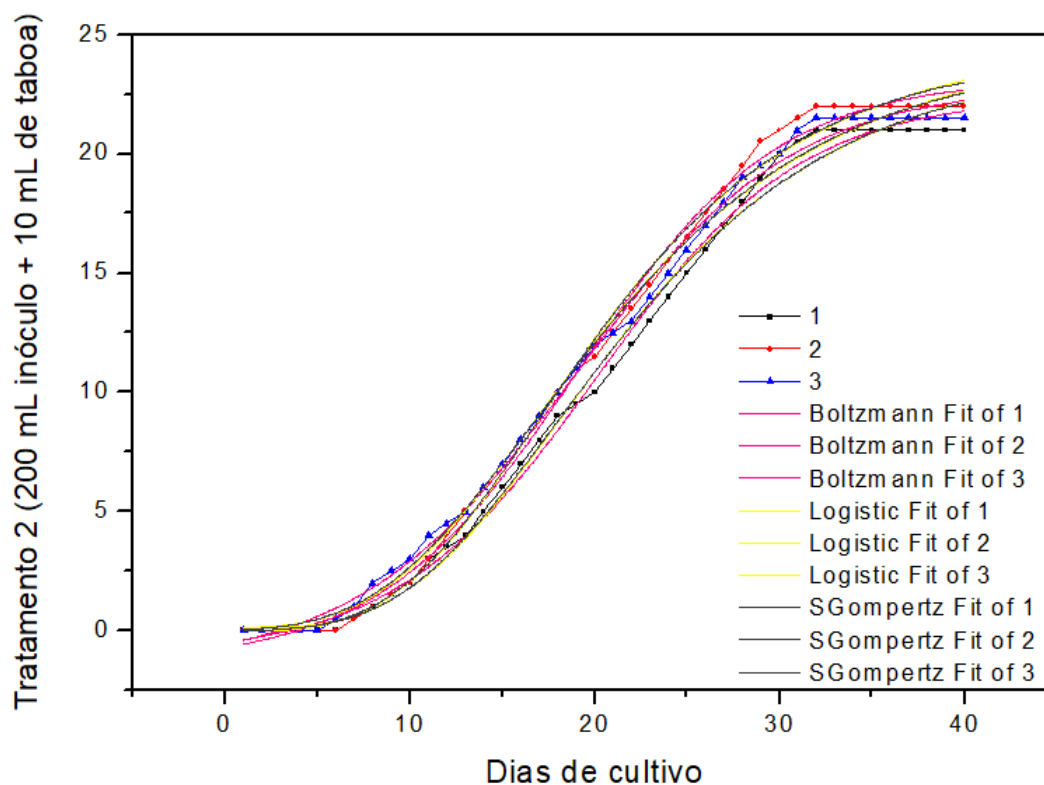
Os índices A1 apresentaram valores de -1.07707, -0,80966 e -0,89878. Esses valores, embora não tenham sentido físico para volume (em mL), apresentaram-se com baixo módulo, representando o volume mínimo produzido por cada tratamento de acordo com o ajuste matemático do modelo de Boltzmann. O índice negativo poderia ser considerado como índice inicial de produção de biogás nas condições do tratamento 1, cuja formulação de meio de cultura apresenta ausência de Taboa. Para o modelo Logístico, se apresenta um índice menor em A1 para o modelo Logístico parecido ao modelo de Boltzmann, só que o valor é muito menor (-0.065), então ele não interfere na modelagem. Os índices a, xc e k ajustados pelo modelo de Gompertz, são valores de a (assíntota superior) e de k (inclinação na curva) apresentaram valores positivos. Assim como o ajuste nos demais modelos, os dados coletados para o primeiro tratamento apresentaram coeficiente de determinação maior que 0,99. De acordo com os dados modelados, o máximo que o tratamento contendo apenas inóculo poderia produzir seria de 15mL de biogás após 7 dias.

Quadro 3- Índices gerados com os três ajustes dos modelos matemáticos para o Tratamento 1

Boltzmann				Logístico				Gompertz			
Equação	$y = A2 + (A1 + A2)/(1 + \exp((x - x0)/dx))$			Equação	$y = A2 + (A1 - A2)/(1 + (x - x0) \wedge p)$			Equação	$y = a * \exp(-\exp(-k * (x - xc)))$		
Adj. R-Quadrado	0.99229	0,99383	0,99218	Adj. R-Quadrado	0,99071	0,99218	0,99091	Adj. R-Quadrado	0,9919	0,99316	0,99204
		Valor	Erro padrão			Valor	Erro padrão			Valor	Erro padrão
1	A1	-1.07797	0.37952	1	A1	-0.06512	2.2353	1	a	15.21582	0.21505
1	A2	14.92134	0.18777	1	A2	15.73456	0.34175	1	xc	13.8778	0.20774
1	x0	15.6665	0.32588	1	x0	16.34111	0.33384	1	k	0.1634	0.00849
1	dx	4.53059	0.301	1	p	3.56132	0.25471	2	a	15.14505	0.19164
2	A1	-0.80966	0.28855	2	A1	-0.0581	0.2071	2	xc	14.27021	0.1844
2	A2	14.84704	0.15908	2	A2	15.50868	0.27813	2	k	0.17585	0.00862
2	x0	16.12619	0.25621	2	x0	16.52297	0.27726	3	a	14.60257	0.1969
2	dx	4.09495	0.23713	2	p	3.97663	0.25804	3	xc	14.04553	0.19835
3	A1	-0.89878	0.33257	3	A1	-0.10545	0.21955	3	k	0.17567	0.00923
3	A2	14.34361	0.17337	3	A2	14.99636	0.29267	-	-	-	-
3	x0	15.84019	0.29773	3	x0	16.27584	0.30179	-	-	-	-
3	dx	4.17866	0.27406	3	p	3.86258	0.27012	-	-	-	-

O Gráfico 6 apresenta os dados de volume acumulado de biogás produzido pelas replicatas do tratamento contendo 200mL de inóculo e 10 mL de Taboa triturada ($0,42 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ de Taboa) ao longo de 40 dias. Nota-se que houve estabilização do volume produzido após 32 dias. As curvas de ajuste são ilustradas pelas cores rosa, amarela e cinza correspondem ao ajuste dos modelos de Boltzmann, Logístico e Gompertz, respectivamente.

Gráfico 6- Curva ajustada dos volumes acumulados de biogás dos três modelos matemáticos utilizados com os dados do Tratamento 2 (200 mL de inóculo + 10 mL de Taboa)



Conforme o Quadro 4 os índices A1 ajustados pelo modelo de Boltzmann apresentam, novamente, valores negativos. Os valores de A2, que indicam o volume máximo de biogás acumulado produzido pelo tratamento, seria entre 22,40 e 23,16 mL de biogás após o momento de estabilização da produção, quando o meio de cultura for preparado conforme descrito e não houver mais alimentação de matéria prima ao longo do tempo (batelada descontínua).

Segundo os seguintes índices referentes aos ajustes dos dados coletados aos modelos Logístico e Gompertz respectivamente, o ajuste do R^2 quadrado foi de 0,99 o qual indica que os modelos se ajustaram de maneira adequada aos dados coletados no tratamento 2.

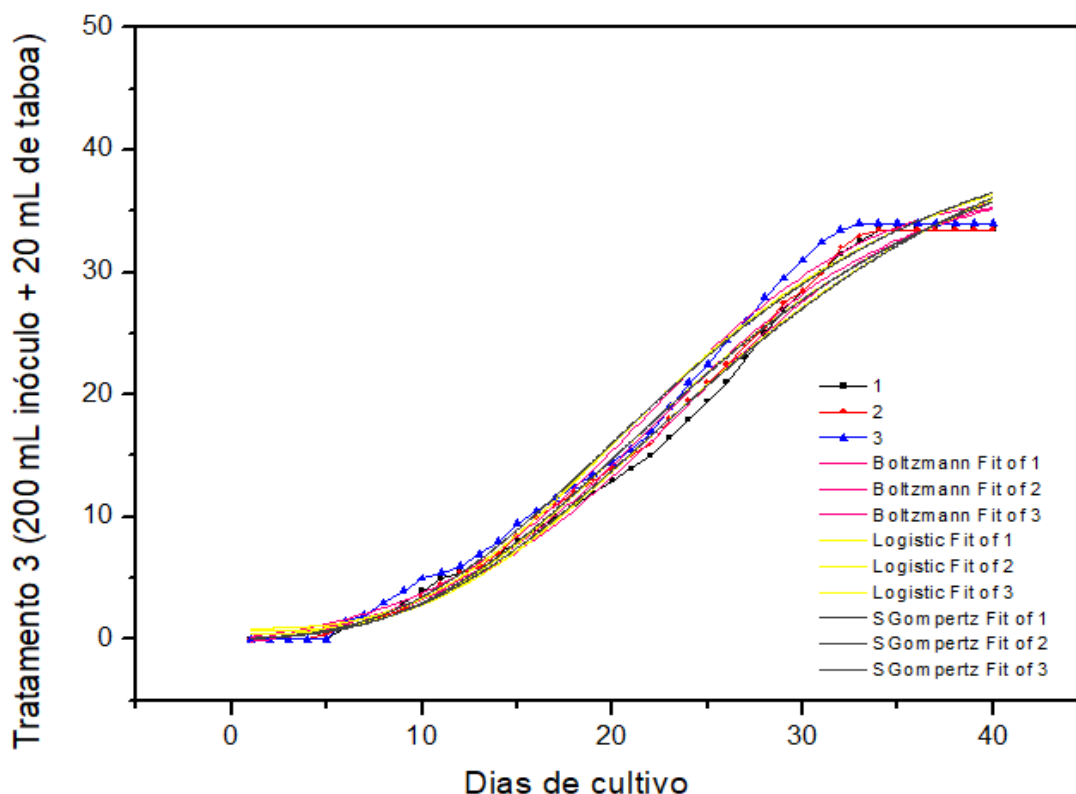
O índice A1 do modelo Logístico apresentado no Quadro 4 é positivo a diferença do Quadro 4 do tratamento 1. A diferença pode ser pelas condições apresentadas no tratamento 2 onde se dispõe de 20 mL de Taboa ($0,80 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ de Taboa no meio de cultura). Os valores do modelo de Gompertz são apresentados novamente valores positivos, para os índices a, xc e k.

Quadro 4- Índices gerados com os três ajustes dos modelos matemáticos para o Tratamento 2

Boltzmann				Logístico				Gompertz			
Equação	$y = A2 + (A1 + A2)/(1 + \exp((x - x0)/dx))$			Equação	$y = A2 + (A1 - A2)/(1 + (x - x0) \wedge p)$			Equação	$y = a * \exp(-\exp(-k * (x - xc)))$		
Adj. R- Quadrado	0,99595	0,99662	0,99685	Adj. R- Quadrado	0,99395	0,99548	0,99499	Adj. R- Quadrado	0,99442	0,99598	0,99566
		Valor	Erro padrão			Valor	Erro padrão			Valor	Erro padrão
1	A1	-1.07988	0.34379	1	A1	0.10677	0.24804	1	a	23.83499	0.4993
1	A2	22.40094	0.32501	1	A2	24.96604	0.81209	1	xc	17.98208	0.2727
1	x0	20.13732	0.25506	1	x0	21.69084	0.51934	1	k	0.11868	0.00579
1	dx	5.50152	0.28171	1	p	3.38407	0.2162	2	a	24.26726	0.37583
2	A1	-1.39182	0.34849	2	A1	-0.018	0.23078	2	xc	17.03359	0.20297
2	A2	23.16969	0.28052	2	A2	25.49139	0.63558	2	k	0.12736	0.0051
2	x0	19.09083	0.23115	2	x0	20.45765	0.38789	3	a	24.16643	0.41822
2	dx	5.3903	0.24962	2	p	3.37395	0.1824	3	xc	16.84088	0.23488
3	A1	-1.53921	0.38059	3	A1	0.14045	0.24583	3	k	0.1153	0.00474
3	A2	22.90148	0.29484	3	A2	25.77161	0.79289	-	-	-	-
3	x0	18.88886	0.24822	3	x0	20.89789	0.51236	-	-	-	-
3	dx	5.9196	0.27916	3	p	3.0378	0.17903	-	-	-	-

O Gráfico 7 apresenta uma produção de aproximadamente 35 mL de biogás, onde observa-se que as curvas dos modelos se ajustaram com os dados do tratamento 3, com $0,80 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ de Taboa no meio de cultura.

Gráfico 7- Curva ajustada dos volumes acumulados de biogás dos três modelos matemáticos utilizados com os dados do Tratamento 3 (200 mL de inóculo + 20 mL de Taboa)



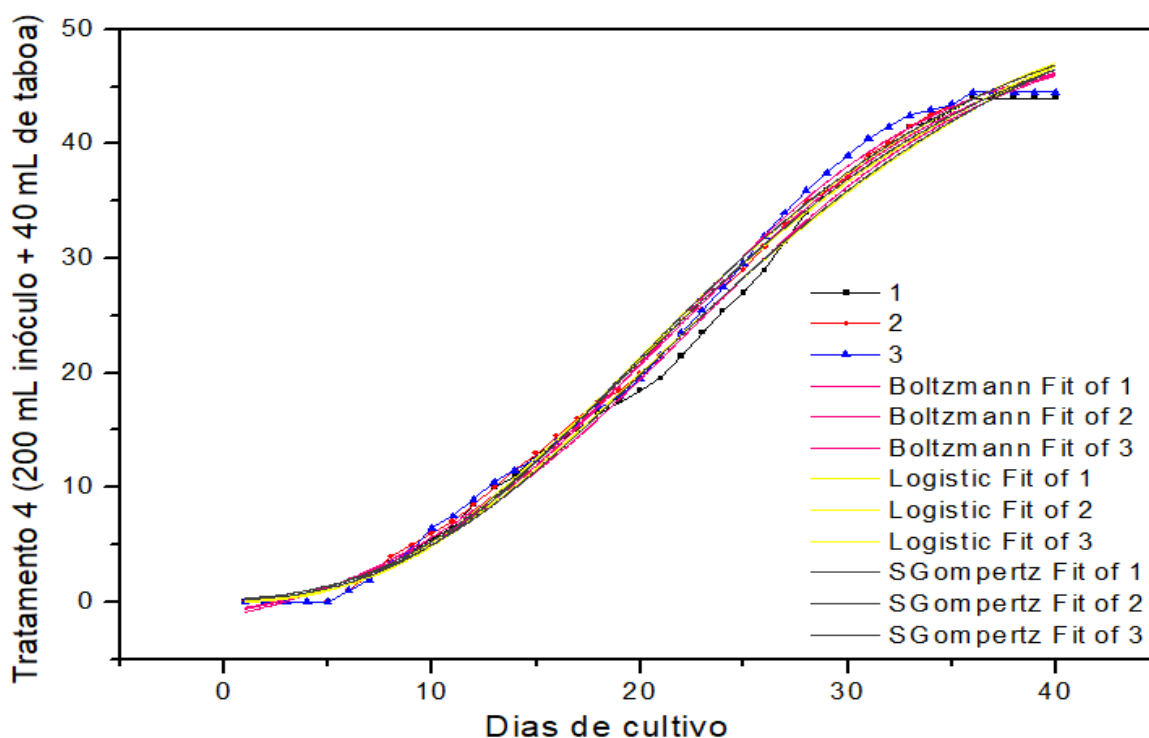
O Quadro 5 indica os índices utilizados no tratamento 3, onde o valor do índice A1 do Boltzmann ainda é negativo, embora seja de pequeno módulo. Os valores para os coeficientes índices do modelo Logístico são todos positivos. Os dois modelos apresentam um ajuste do R^2 de 0,99 novamente conforme com os Quadros, o qual significa que os modelos se ajustaram corretamente. Se apresentam os índices do modelo de Gompertz, eles são todos positivos e o ajuste do R^2 é de 0,99 o qual indica que o modelo foi ajustado adequadamente aos dados de produção acumulada de biogás no tratamento 3, que contém 20 mL de Taboa ($0,80 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ de Taboa). De acordo com os ajustes matemáticos, o volume máximo de biogás que seria produzido pelo tratamento 3 ($0,80 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ de Taboa) seria entre 37,4 e 47,4 mL após, aproximadamente, 40 dias de produção, quando em batelada descontínua.

Quadro 5- Índices gerados com os três ajustes dos modelos matemáticos para o Tratamento 3

Boltzmann				Logístico				Gompertz			
Equação	$y = A2 + (A1 + A2)/(1 + \exp((x - x0)/dx))$			Equação	$y = A2 + (A1 - A2)/(1 + (x - x0) \wedge p)$			Equação	$y = a * \exp(-\exp(-k * (x - xc)))$		
Adj. R-Quadrado	0,99372	0,99572	0,9935	Adj. R-Quadrado	0,99013	0,99325	0,98917	Adj. R-Quadrado	0,99068	0,99374	0,98971
		Valor	Erro padrão			Valor	Erro padrão			Valor	Erro padrão
1	A1	-1.02503	0.66578	1	A1	0.68673	0.48623	1	a	44.95493	2.23453
1	A2	38.21799	1.093	1	A2	47.40699	3.81148	1	xc	21.91694	0.74582
1	x0	23.57288	0.41579	1	x0	27.40449	1.62508	1	k	0.08412	0.00616
1	dx	6.451	0.45794	1	p	2.9984	0.27731	2	a	42.23842	1.43625
2	A1	-1.5227	0.59182	2	A1	0.47334	0.41189	2	xc	20.52475	0.48602
2	A2	37.52417	0.81327	2	A2	45.16617	2.59399	2	k	0.09207	0.00524
2	x0	22.47728	0.32303	2	x0	25.74526	1.10847	3	a	42.20236	1.66327
2	dx	6.43056	0.37445	2	p	2.99708	0.22329	3	xc	19.60138	0.5594
3	A1	-0.86158	0.68731	3	A1	0.93303	0.52339	3	k	0.0949	0.00667
3	A2	37.39801	0.83846	3	A2	43.67851	2.60057	-	-	-	-
3	x0	21.75384	0.35617	3	x0	24.26014	1.07347	-	-	-	-
3	dx	5.95469	0.40528	3	p	3.16392	0.2879	-	-	-	-

O Gráfico 8 apresenta os dados coletados para o tratamento 4 contendo $1,47 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ de Taboa. O Gráfico apresenta também os ajustes desses dados aos três modelos escolhidos nesse trabalho. Os ajustes apresentam produção entre $40,2$ e $67,1 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ após 40 dias. Os dados coletados até 40 dias não foram suficientes para apresentar, nos ajustes, a estabilização da concentração de volume de biogás produzido em mL.

Gráfico 8- Curva ajustada dos volumes acumulados de biogás dos três modelos matemáticos utilizados com os dados do Tratamento 4 (200 mL de



O Quadro 6 apresenta os valores dos índices do tratamento 4, onde o modelo de Boltzmann apresenta o índice A1 com um valor negativo de -3.71, o qual foi o valor mais negativo entre todos os ajustes. O motivo pode ser que no tratamento 4 a produção de biogás é a maior dos 4 tratamentos é o modelo se ajusta dessa forma, o valor ainda é baixo comparado a produção de aproximadamente 50 mL, então podemos dizer que não gera uma interferência negativa, lembrando que o ajuste de R^2 é de 0,99. Os seguintes índices apresentam os parâmetros ajustados aos modelos Logístico e Gompertz. Todos os índices foram ajustados adequadamente e o modelo apresentou um coeficiente de correlação maior que 0,99.

Quadro 6- Índices gerados com os três ajustes dos modelos matemáticos para o Tratamento 4

Boltzmann				Logístico				Gompertz			
Equação	$y = A2 + (A1 + A2)/(1 + \exp((x - x0)/dx))$			Equação	$y = A2 + (A1 - A2)/(1 + (x - x0) \wedge p)$			Equação	$y = a * \exp(-\exp(-k * (x - xc)))$		
Adj. R-Quadrado	0,99569	0,99811	0,99674	Adj. R-Quadrado	0,99372	0,99691	0,9943	Adj. R-Quadrado	0,99068	0,99721	0,99497
		Valor	Erro padrão			Valor	Erro padrão			Valor	Erro padrão
1	A1	-3.71946	1.06593	1	A1	0.12912	0.57969	1	a	56.63021	2.00095
1	A2	50.84099	1.42231	1	A2	67.05414	5.47674	1	xc	20.56774	0.54127
1	x0	22.30062	0.39899	1	x0	28.44137	1.97419	1	k	0.08363	0.00457
1	dx	7.6069	0.5125	1	p	2.44896	0.19365	2	a	54.54838	1.16944
2	A1	-4.37923	0.76014	2	A1	0.01386	0.41506	2	xc	19.44227	0.31819
2	A2	50.2516	0.85399	2	A2	63.83269	3.14287	2	k	0.08916	0.00326
2	x0	21.22687	0.25146	2	x0	26.53463	1.11954	3	a	54.15569	1.47505
2	dx	7.5575	0.33408	2	p	2.46899	0.13314	3	xc	19.24677	0.39298
3	A1	-3.00914	0.81813	3	A1	0.34985	0.53894	3	k	0.09335	0.00453
3	A2	49.22199	0.91359	3	A2	60.19661	3.27599	-	-	-	-
3	x0	21.18546	0.28831	3	x0	25.05332	1.10564	-	-	-	-
3	dx	6.76696	0.35689	3	p	2.7144	0.18912	-	-	-	-

6 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Determinou-se através dos cálculos da massa seca da Taboa as seguintes concentrações de Taboa seca triturada presente em cada tratamento: se dispõe de 10 mL de Taboa ($0,42 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ de Taboa no meio de cultura) para o tratamento 2, 20 mL de Taboa ($0,80 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ de Taboa presente no meio de cultura) para o tratamento 3 e 40 mL de Taboa ($1,47 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ de Taboa no meio de cultura) para o tratamento 4. Os $1,47 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ presentes no tratamento 4 indicaram a maior produção de biogás, portanto com maior quantidade de Taboa no meio tratado ocorre uma maior produção. Continuamente com o resultado de bromatologia, a Taboa é uma planta muito fibrosa, com alto porcentagem de lignina o qual indica que sua decomposição é lenta, mas no experimento foi comprovado que ela ainda pode-se decompor e produzir biogás num período de tempo de 40 dias.

O máximo de biogás produzido foi de 45 mL no tratamento 4 ($1,47 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ de Taboa no meio de cultura) contendo 40 mL de Taboa. O máximo produzido foi no dia 35. Portanto significa que seria possível conseguir 180 mL de biogás por litro de meio de cultura contendo Taboa na produção de $1,47 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ de meio. A velocidade média acumulada foi maior no tratamento 4, chegando a $1.2 \text{ mL}\cdot\text{dia}^{-1}$ no dia 35, as velocidades de todos os tratamentos foram crescentes, apresentando uma pequena declinação a partir do dia 36-37.

O biofertilizante produzido após 40 dias de cultivo dos biodigestores apresenta valores ótimos nos parâmetros avaliados, como ser a acidez que foi de pH 8,5 e um porcentagem de matéria orgânica de 19,60 % em relação a matéria seca da Taboa. Os resultados foram comparados com o trabalho de produção de biofertilizante com o uso da macrófita *Lechuguin Eichornia Crassipes*. Não foi realizado análise microbiológico, não é possível afirmar se o biofertilizante pode ser utilizado, porque pode provocar riscos à saúde.

Podemos concluir que os três modelos não lineares de crescimento se ajustaram corretamente aos quatro tratamentos, mas o primeiro modelo apresentou dados de volume mínimo. Os tratamentos 2, 3 e 4 onde se apresenta Taboa (10 mL, 20 mL e 40 mL respectivamente) a curva dos ajustes ainda estava crescendo. O que indica que tem aumento na produção de biogás, como confirmado pelos modelos matemáticos. É possível afirmar que pode ser utilizada a Taboa cultivada em SACs para alimentar o biodigestor e produzir biogás.

E notável que o aumento de concentração de Taboa favorece a produção de biogás a traves de biodigestor. A Taboa utilizada no SACs para o tratamento de esgoto pode ser considerada como uma cultura viável para a produção de biogás. Fechando dessa forma um ciclo do uso da Taboa nos SACs para o tratamento de água residuária visando seu tratamento para posterior reuso na agricultura.

7 CONCLUSÕES

Após a análise dos resultados do desenvolvimento do trabalho apresentado, se apresentam às seguintes conclusões:

Com maior quantidade de Taboa existente no meio de cultivo existe uma maior produção de volume de biogás, como se evidenciou no tratamento 4 com $1,47 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ de Taboa no meio de cultura.

O sistema de digestão anaeróbia, montado na estufa a traves dos biodigestores para o estudo do efeito de adicionamento de Taboa, sobre a produção de volume de biogás, foi eficiente, visto que o experimento alcançou produzir volumes diferentes de biogás.

Com o resultado da análise bromatológica é comprovado que a Taboa ainda pode-se decompor e produzir biogás num período curto de tempo (40 dias) a pesar dela ser um material com muito conteúdo fibroso.

O máximo de biogás produzido foi de 45 mL no tratamento 4 ($1,47 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ de Taboa no meio de cultura) contendo 40 mL de Taboa, no dia 35 de cultivo; portanto, significa que seria possível conseguir 180 mL de biogás por litro de meio de cultura.

A velocidade média acumulada foi maior no tratamento 4 ($1,47 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ de Taboa no meio de cultura), chegando a $1,2 \text{ mL} \cdot \text{dia}^{-1}$ no dia 35, as velocidades de todos os tratamentos foram crescentes, presentando uma pequena declinação a partir do dia 36-37.

O biofertilizante produzido após os 40 dias de cultivo nos 12 biodigestores colocados uniformemente na estufa no laboratório, apresentam valores ótimos nos parâmetros avaliados (pH, Nitrogênio total, Matéria Orgânica e relação carbono/nitrogênio) eles foram comparados com o trabalho de produção de biofertilizante com o uso da macrófita Lechuguin Eichornia Crassipes citado como referência no presente trabalho. Por enquanto, como não foi realizado analise microbiológico, não é possível afirmar se o biofertilizante pode ser utilizado na agricultura irrigada.

Podemos concluir que os três modelos não lineares de crescimento se ajustaram corretamente aos quatro tratamentos, mas no primeiro tratamento, onde não tem presença de Taboa, os modelos Boltzmann, Logístico e Gompertz apresentaram volumes mínimos de produção de volume de biogás.

Concluindo que a Taboa utilizada no SACs para o tratamento de água residuária pode ser considerada como um substrato viável para a produção de

biogás, fechando dessa forma um ciclo do uso da Taboa nos SACs para o tratamento de água residuária visando seu reuso na agricultura.

REFERÊNCIAS

- ACKOM, E. K. et al. Modern bioenergy from agricultural and forestry residues in Cameroon: Potential, Challenges and the Way Forward. **Energy Policy**, v. 63, n. 1, p.101-113, Dez. 2013. Elsevier B. V.
<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.09.006>.
- ADELERE, E. A.; UDUOGHENE, B. O. The potentials of production of biogas from constructed wetland macrophytes. **African Journal of Biotechnology**, v.16, n. 33, p. 1724-1732, Ago. 2017. Academic Journals.
<https://doi.org/10.5897/ajb2017.16052>.
- AHRING, B. K. Perspectives for Anaerobic Digestion. In: Scheper T. (Coord.). **Biomethanation I**. Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology. Berlin: Springer, 2003. v. 81, p. 1-30.
- ALVES, R. T.; DJONATHAN, L.; BARICHELO, R. Geração de energia elétrica com biogás: Um caso prático na Suinocultura. In: 1º SAEP - Semana Acadêmica da Engenharia de Produção, 1., 2010, Horizontina. **Palestras...**Faculdade de Horizontina, 2010. 11 p.
- ALVINGE, S. **Evaluation of wetland plants as a source for biogas production after mechanical, alkaline and fungal pretreatments**. 2010. 30 f. Dissertação (Mestrado em Biologia)-Faculdade de Física, Química e Biologia, Universidade de Linköping, Linköping, Sweden, 2010.
- BARBOSA, A. C; GENTIL, I. C. Histórico do manejo de macrófitas aquáticas no Reservatório Guarapiranga. In: 2º Seminário de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul: Recuperação de Áreas Degradadas, Serviços Ambientais e Sustentabilidade. 2., 2009, Taubaté, Brasil. **Anais...**EMAE-Empresa Metropolitana de Água e Energia. p. 585-592. <https://doi.org/10.41367serhidro.76>.
- BIANCHINI, I. J. et al. Monitoramento das macrófitas aquáticas do reservatório da usina Hidrelétrica Luís Eduardo Magalhães (Estado de Tocantins, Brasil). **AUGMDOMUS**, Montevideo, Uruguai, v. 2, p. 38-48. 2010. Online ISSN: 1852-2181. Disponível em:
<http://revistas.unlp.edu.ar/index.php/domus/issue/current/showToc>>. Acesso em: 14 de maio de 2019.
- BLANCO, L. A.; SARTORI, M. S. Uso do solo e análise temporal da ocorrência de vegetação natural na fazenda experimental Edgardia, em Botucatu-SP. **Revista Árvore**, v. 26, n. 5, p. 585-592. 2002. Print version ISSN: 0100-6762 Online ISSN:1806-9088. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622002000500009>.
- BRASIL. **Lei nº 12.300, de 16 de março de 2006**. Estabelece diretrizes nacionais para a gestão integrada e compartilhada de resíduos sólidos; altera as seguintes leis: Lei nº 11.387, de 27 de maio de 2003 e a Lei nº 326/2005, de 27 de maio de 2003. Estado de São Paulo. 2007a. Disponível em:
<https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/2006/lei-12300-16.03.2006.html>. Acesso em: 18 de dec. de 2019.

CASTRO, S. S. et al. Modelos não lineares ajustados à produção acumulada de biogás provenientes de camas sobrepostas de suínos. **Revista Agrogeoambiental**, v. 10, n. 3, Set. 2018. <http://dx.doi.org/10.18406/2316-1817v10n320181168>.

CAPRA, A.; SCICOLONE, B. Emitter and filter tests for wastewater reuse by drip irrigation. *Agricultural Water Management*, v. 68, n. 2, p. 135-149, Ago. 2004. Elsevier B. V. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2004.03.005>.

CIRCULAR ECONOMY 100. Uma economia circular no Brasil: Uma abordagem exploratória inicial. **CE100 BRASIL**. Ellen MacArthur Foundation. f. 31, 2017. Disponível em: https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/languages/Uma-Economia-Circular-no-Brasil_Uma-Exploracao-Inicial.pdf. Acesso em: 15 de nov. de 2019.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. Dispõe sobre as responsabilidades, os critérios básicos e as diretrizes gerais para uso e implementação da Avaliação de Impacto Ambiental como um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 1, de 23 de janeiro de 1986**. Brasília. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=8902>. Acesso em: 10 de out. 2019.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. Dispõe sobre o licenciamento ambiental de sistemas de disposição final dos resíduos sólidos urbanos gerados em municípios de pequeno porte. **Resolução CONAMA nº 308, de 21 de março de 2002**. Brasília. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=330>. Acesso em: 02 de out. 2019.

COOK, C. D. K. et al. **Water plants on the world**. A Manual for the Identification of the Genera of Freshwater Macrophytes. Netherlands: The Hague, Junk Publishers, Springer Science + Business Media B. V., 1974. v.1, 1974, p. 5-35.

CUI, W.; CHENG, J. J. Growing duckweed for biofuel production: a review. **Plant Biology**, German Botanical Society and The Royal Botanical Society of the Netherlands, v. 17, 2014. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/263583407_Growing_duckweed_for_bi_ofuel_production_A_review >. Acesso em: 13 jun. 2019.

CUNHA, A. R.; MARTINS, D. Classificação climática para os municípios de Botucatu e São Manuel, SP. **Irriga**, Botucatu, v. 14, n. 1, p.1-11, 2009. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/71044>. Acesso em: 01 de ago. 2019.

DAVIS, L. **A Handbook of Constructed Wetlands**. A guide to creating wetlands for agricultural wastewater, domestic wastewater, coal mine drainage, stormwater in the Mid-Atlantic Region. Washington D.C.: U.S. Government Printing Office, 1995. v. 1, 54 p.

Department of Ecology. A Citizen's Manual for Developing Integrated Aquatic Vegetation Management Plans. Washington D. C., USA. 1994. Disponível em: <<https://fortress.wa.gov/ecy/publications/documents/93093.pdf>>. Acesso em: 30 de out. 2019.

ESTEVES, F. A.; CAMARGO, A. F. M. Sobre o papel das macrófitas aquáticas na estocagem e ciclagem de nutrientes. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 1, p. 273-298, 1986. Embrapa Pantanal. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=000186&pid=S2179975X20100020001100030&lng=en>. Acesso em: 25 de set. de 2018.

FAO. **Manual de biogás**. Chile: MINENERGIA/PNUD/FAO/GEF, 2011. 119 p. ISBN 978-95-306892-0.

FARIA, Á. M. **Economia Circular: Reinvenção das Formas de Negócio**. 2018. 44 f. Monografia (Bacharel Ciências Econômicas)-Instituto de Economia e Relações Internacionais da Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018.

FIA, F. R. L. et al. Remoção de nutrientes por *Typha latifolia* e *Cynodon* spp. cultivadas em sistemas alagados construídos. **Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, Taubaté, v. 6, n. 1, p. 77-89, 2011. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/273437817_Remocao_de_nutrientes_por_Typha_latifolia_e_Cynodon_spp_cultivadas_em_sistemas_alagados_construidos>. Acesso em: 04 set. 2019.

FIA, F. R. L. et al. Efeito da vegetação em sistemas alagados construídos para tratar águas residuárias da suinocultura. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Lavras, MG, v. 22, n. 2, p. 303-311, mar./abr. 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522016123972>.

FNR, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.; Ministerio da Nutrição, Agricultura e Defesa do Consumidor da Alemanha. **Guia Prático do Biogás: geração e utilização**. 5. ed. Gülzow: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, 2010. 236 p. Disponível em: <<http://mediathek.fnr.de/media/downloadable/files/samples//e/ leitfadenbiogas-por-finalweb-20131002.pdf>>. Acesso em: 17 nov. 2018.

GEBER, U. Cutting frequency and stubble height of reed canary grass (*Phalaris arundinacea* L.): influence on quality and quantity of biomass for biogas production. **Grass and Forage Science**, Uppsala, Sweden, v. 57, n. 4, p. 389-394, 2003. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1046/j.1365-2494.2002.00329.x>>. Acesso em: 18 set. 2019.

GIZIŃSKA-GÓRNA, M.; CZEKAŁAB, W.; JÓZWIAKOWSKIA, J. The possibility of using plantas from hybrid constructed wetland wastewater treatment plant for energy purposes. **Ecological Engineering**, v. 95, p. 534-541, jul. 2016. Elsevier B. V. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.06.055>.

GOLDBARG, M. C. **Otimização Combinatória e Programação Linear: modelos e algoritmos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier B. V., 2005. v. 1, cap. 1, p.14-23; cap. 2, p. 25-30.

GUNASEELAN, V. N. Anaerobic digestion of biomass for methane production: a review. **Biomass and Bioenergy**, Coimbatore, India, v. 13, n. 1-2, p. 83-114, 1997. Elsevier Science. [https://doi.org/10.1016/S0961-9534\(97\)00020-2](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(97)00020-2).

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Figura 4- Número de cabeças do efetivo da pecuária (em mil cabeças) – Brasil, 2015.; Figura 5- Evolução do efetivo de bovinos (milhões de cabeças)**. Rio de Janeiro: IBGE, 2017. Disponível em: <https://brasilemsintese.ibge.gov.br/agropecuaria/efetivos-da-pecuaria.html>. Acesso: 02 out. 2019.

JIANG, X. et al. Research on biogas production potential of aquatic plants. **Renewable Energy**, v. 69, p. 97-102, set. 2014. Elsevier B. V. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.03.025>.

JUNQUEIRA, J. B. **Biodigestão anaeróbia e compostagem com dejetos de bovinos confinados e aplicação do biofertilizante e do composto em área cultivada com Panicum maximum Jacq., cv Tanzânia**. 2011. 103 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia)-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2011.

KADLEC, R. H.; WALLACE, S. **Treatment Wetlands**. 2. ed. Florida: CRC Press-Taylor and Francis Group, 2008. p. 64-69.

KARLSSON, T. et al. **Manual Básico de Biogás**. 1. ed. Lajeado: Univates, 2014. 69 p.

LIM, J. S. et al. A review on utilisation of biomass from rice industry as a source of renewable energy. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, n. 5, p. 3084-3094, jun. 2012. Elsevier B. V. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.02.051>.

LIMA, S. E.; LOBO, P. J.; BARBOSA, S. A. Efeito da adição de inóculo no processo de biodigestão anaeróbica de dejetos de bovino. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 8., 2018, Gramado. **Anais...** Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/605>. Acesso em: 20 set. 2019.

LINS, L. P. **Produção de biogás a partir de resíduos de bovinocultura leiteira por meio da codigestão com macrófitas da espécie Salvinia**. 2017. 80 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Ambientais)-Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2017.

LÓPEZ, D. **"Aprovechamiento del Lechuguín ("Eichhornia crassipes") para la generación de abono orgánico mediante la utilización de tres diseños**

diferentes de biodigestores". 2012. 192 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental)-Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, Cuenca, Ecuador, 2012.

MARTI, H. J. **Biodigestores Familiares:** Guía de diseño y manual de instalación. La Paz, Bolivia. GTZ-Bolivia, 2008. 86 p.

MELLO, T. C. **Validação experimental de modelo matemático de reatores de biodigestão anaeróbia e avaliação do impacto da adição de microalgas na produtividade.** 2017. 96 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica)-Setor Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA - MCT. Convenção sobre Mudança do Clima. Brasil, 2000.
Disponível em:<http://www.mct.gov.br/clima/comunic_old/pecuar01.html>. Acesso em: 18 out. 2019.

MSHANDETE, A. M. The Anaerobic digestion of cattail weeds to produce methane using American cockroach gut microorganisms. **Journal of Agricultural and Biological Science**, v. 4, n. 1, p. 45-57, jan. 2009. Asian Research Publishing Network (ARPN). ISSN 1990-6145.

MÜLLER, A. C. **Hidrelétricas, meio ambiente e desenvolvimento.** São Paulo: Makron Books, 1995. cap. 4, p. 202-223.

National Footprint Accounts: Global Footprint Network. 2019. Disponível em: <<https://www.footprintnetwork.org/resources/data/>>. Acesso em: 04 set. 2019.

OERTLI, B; LACHAVANE, J. B. The effects of shoot age colonization of an emergent macrophyte (*Typha latifolia*) by macroinvertebrates. **Freshwater Biology**, Oxford, UK, v. 34, n. 3, p. 421-431, jan.1995.

OLIVEIRA, J. F. A. **Ensino não formal da diminuição da carga poluidora de dejetos animais a partir da produção de biogás e biofertilizante em pequenas propriedades rurais.** 2013. 70 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemáticas)-Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemáticas, Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

OLIVEIRA, R. J. F. et al. Efeito da adição de *Egeria densa* sobre a digestibilidade e balanço de nitrogênio em caprinos. **Archivos de Zootecnia**, v. 53, n. 202, p. 175-184, 2004. Disponível em: <<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1209425>>. Acesso em: 15 out. 2019.

ORO, N. T.; SAUSEN, A. T. Z.; SAUSEN, P. S. Modelagem e simulação do processo de produção de biogás num biodigestor urbano. **Revista de Ciências Exatas Aplicadas e Tecnológicas da Universidade de Passo Fundo**, v. 9, n. 1, p. 25-35, 2017.

PEDREIRA, M. S. et al. Aspectos relacionados com a emissão de metano de origem ruminal em sistemas de produção de bovinos. **Archives of Veterinary Science**, v. 10, n. 3, p. 24-32, 2005. ISSN: 1517-784X.

POMPÊO, M. L. M; MOSCHINI, C. V. **Macrófitas aquáticas e perifíton, aspectos ecológicos e metodológicos**. São Carlos: Rima, 2003. 137 p.

POMPÊO, M. Monitoramento e manejo de macrófitas aquáticas. **Oecologia Brasiliensis**, v. 12, n. 3, p. 406-424, 2008. ISSN-e 1981-9366.

PUGLIESE, A.; BIDINI, G.; FANTOZZI, F. Anaerobic digestion of macrophytes algae for eutrophication mitigation and biogas production. **Energy Procedia**, v. 82, p. 366-373, 2015. Elsevier B. V. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.806>.

QUELUZ, J. G. T. **Eficiência de alagados construídos para o tratamento de águas residuárias com baixas cargas orgânicas**. 2016. 110 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Irrigação e Drenagem)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2016.

SILVA, S. C. **“Wetlands Construídos” de fluxo vertical com meio suporte de solo natural modificado no tratamento de esgotos domésticos**. 2007. 205 f. Tese (Doutorado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos)-Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

SOUSA, J. T. et al. Pós-tratamento de efluente de reator UASB utilizando sistemas “wetlands” construídos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 4, n. 1, p. 87-91, 2000.

STUCHI, J. F. **BIOFERTILIZANTE: Um adubo líquido de qualidade que você pode fazer**. Embrapa Amapá, 2015. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1046948/1/CPAFA_P2015CartilhaBiofertilizantefinal.pdf>. Acesso em: 18 de out. de 2019.

SUDHAKAR, K. et al. A novel design of Multi-Chambered biomass battery. **International Journal of Renewable Energy Development**, v. 2, n. 1, p. 31-34, 2013. <https://doi.org/10.14710/ijred.2.1.31-34>.

TAHERUZZAMAN, Q.; KUSHARI, D. P. Evaluation of Some Common Aquatic Macrophytes Cultivated in Enriched Water as Possible Source of Protein and Biogas. **Hydrobiological Bulletin**, v. 23, n. 2, p. 207-212, 1989.

TARDIVO, R.C; BACH, A; MORO, R. S. Macrófitas aquáticas da represa de alagados. In: MELO, M. S. **Patrimônio Natural dos Campos Gerais do Paraná**. 1. ed. Ponta Grossa, UEPG, 2007. p. 105-108.

THOMAZ, S. M.; BINI, L. M. Ecologia e manejo de macrófitas aquáticas em reservatórios. **Acta Limnologica Brasiliensis**, v. 10, n. 1, p. 103-116. 1998. Disponível em: <<http://repositorio.bc.ufg.br/tede/handle/ri/11811>>. Acesso em: 30 out. 2019.

THOMAZ, S. M. et al. Aquatic macrophytes of Itaipu Reservoir, Brazil: Survey of species and ecological considerations. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 42, n. 1, 1999.

<http://dx.doi.org/10.1590/S1516-89131999000100003>.

THOMAZ, S. M. Fatores ecológicos associados à colonização e ao desenvolvimento de macrófitas aquáticas e desafios de manejo. **Planta Daninha**, v. 20, n. spe, p. 21-33, 2002. <http://dx.doi.org/10.1590/S010083582002000400003>.

THULLEN, J. S. et al. Macrophyte decomposition in a surface-flow ammonia-dominated constructed wetland: Rates associated with environmental and biotic variables. **Ecological Engineering**, v. 32, n. 3, p. 281-290, 2008. Elsevier B. V. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2007.12.003>.

VYMAZAL, J. Removal of nutrientes in various types of constructed wetlands. **Science of the Total Environment**, v. 380, p. 48-65, 2007. Elsevier B. V. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2006.09.014>.

WARD, A. J. et al. Optimisation of the anaerobic digestion of agricultural resources. **Bioresource Technology**, v. 99, p. 7928-7940, 2008. Elsevier B. V. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.02.044>.

WOOD, A. Constructed wetlands in water pollution control: Fundamentals to their understanding. **Water Science and Technology**, v. 32, n. 3, p. 21-29, 1995. [https://doi.org/10.1016/0273-1223\(95\)00601-X](https://doi.org/10.1016/0273-1223(95)00601-X).

WU, H.; LÜ, X.; YANG, Q. Factors affecting litter decomposition of wetland herbaceous macrophytes. **Chinese Journal of Ecology**, v. 25, n. 11, p. 1405-1411, 2006. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11425-006-2005-5>>. Acesso em: 20 de out. 2019.

WWAP, Programa Mundial de la UNESCO de Evaluación de los Recursos Hídricos. 2017. **Aguas residuales: El recurso desaprovechado**. París, UNESCO. Disponível em: <<https://es.unesco.org/watersecurity/wwap/wwdr/2019#download>>. Acesso em: 10 de jan. 2019.

WWAP/ONU-Agua, Programa Mundial de la UNESCO de Evaluación de los Recursos Hídricos/ONU-Agua. 2019. **Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2018: Soluciones basadas en la naturaleza para la gestión del agua**. París, UNESCO. Disponível em: <<https://es.unesco.org/watersecurity/wwap/wwdr/2019#download>>. Acesso em: 10 de jan. 2019.

WWF. **Terra entra no cheque especial a partir de 29 de julho**. Brasil: Fundo Mundial para a Natureza, 2019. Disponível em: <<https://www.wwf.org.br/?72262/Em-2019-Terra-entra-no-cheque-especial-a-partir-de-29-de-julho>>. Acesso em: 04 setembro 2019.